

텅스텐산나트륨 백과사전

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

텅스텐, 몰리브덴 및 희토류 산업을 위한 지능형 제조 분야의 글로벌 리더

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA 그룹 소개

차이나텅스텐 온라인(CHINATUNGSTEN ONLINE)이 설립한 완전 자회사이자 독립적인 법인격을 가진 CTIA 그룹(CTIA GROUP LTD)은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능적이고 통합적이며 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. 1997 년 www.chinatungsten.com 을 시작점으로 설립된 차이나텅스텐 온라인은 중국 최초의 최고급 텅스텐 제품 웹사이트로, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 중점을 둔 중국을 선도하는 전자상거래 기업입니다. CTIA 그룹은 텅스텐과 몰리브덴 분야에서 30 년 가까이 쌓아온 심층적인 경험을 활용하여 모회사의 탁월한 설계 및 제조 역량, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 명성을 계승하여 텅스텐 화학물질, 텅스텐 금속, 시멘트 카바이드, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야에서 포괄적인 애플리케이션 솔루션 제공업체가 되었습니다.

지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축하여 20 개 이상의 언어를 지원하고 있으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 자료를 백만 페이지 이상 보유하고 있습니다. 2013 년부터 위챗 공식 계정인 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 게시하여 약 10 만 명의 팔로워를 확보 하고 전 세계 수십만 명의 업계 전문가에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정 누적 방문자 수가 수집역 회를 기록하며, CHINATUNGSTEN ONLINE 은 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업 분야에서 세계적으로 인정받는 권위 있는 정보 허브로 자리매김했습니다. 24 시간 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공합니다.

CTIA 그룹은 CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 고객 맞춤형 니즈 충족에 집중합니다. AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수 및 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 생산합니다. 금형 개봉, 시제품 제작, 마무리, 포장 및 물류에 이르는 전 공정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년 동안 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 명 이상의 고객에게 50 만 종 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품에 대한 R&D, 설계 및 생산 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기반을 마련했습니다. CTIA 그룹은 이러한 기반을 바탕으로 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조 및 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 작성하여 공개하고 텅스텐 업계와 자유롭게 공유해 왔습니다. 1990 년대부터 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 그리고 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조 분야에서 30 년 이상의 경력을 쌓아 온 한 박사는 국내외 텅스텐 및 몰리브덴 제품 분야의 저명한 전문가입니다. CTIA GROUP 팀은 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, 생산 관행 및 시장 고객 요구에 기반한 기술 연구 논문, 기사 및 산업 보고서를 지속적으로 작성하여 업계에서 폭넓은 호평을 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA 그룹의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 대한 탄탄한 지원을 제공하며, 이를 통해 회사가 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조와 정보 서비스 분야에서 선두주자로 발돋움하는 데 기여할 것입니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

목차

머리말

- 1.1 텅스텐산나트륨 백과사전 편찬의 목적과 의의
- 1.2 텅스텐산나트륨의 역사와 발전 개요
- 1.3 텅스텐산나트륨 백과사전의 구조 및 사용 안내
- 1.4 텅스텐산나트륨 백과사전의 대상 독자 및 적용 시나리오

제 1 장 텅스텐산나트륨 소개

- 1.1 텅스텐산나트륨의 정의 및 화학식
- 1.2 텅스텐산나트륨의 물리적 특성(외관, 밀도, 녹는점, 용해도 등)
- 1.3 텅스텐산나트륨의 화학적 특성(산도, 알칼리도, 산화환원 특성, 안정성)
- 1.4 텅스텐산나트륨의 결정구조 및 분자적 특성
- 1.5 텅스텐산나트륨의 이성질체 및 관련 화합물

제 2 장 텅스텐산나트륨의 분류 및 형태

- 2.1 텅스텐산나트륨의 무수물 및 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.2 텅스텐산나트륨의 다양한 순도 수준(산업용, 분석용, 제약용)
- 2.3 텅스텐산나트륨의 용액 및 고체 형태
- 2.4 텅스텐산나트륨의 포장 및 보관 요건

제 3 장 텅스텐산나트륨의 화학 반응

- 3.1 텅스텐산나트륨과 산의 반응(텅스텐산 등을 생성)
- 3.2 텅스텐산나트륨과 금속이온의 착화반응
- 3.3 텅스텐산나트륨의 산화환원반응 특성
- 3.4 텅스텐산나트륨의 열분해 및 고온반응
- 3.5 텅스텐산나트륨의 촉매효과 및 반응기구

제 4 장 텅스텐산나트륨의 실험실 제조 방법

- 4.1 텅스텐 광석으로부터 텅스텐산나트륨 추출
- 4.2 텅스텐산나트륨의 화학 합성(텅스텐산과 수산화나트륨의 반응)
- 4.3 텅스텐산나트륨의 전기화학적 제조 기술
- 4.4 텅스텐산나트륨의 실험실 정제 및 결정화 기술
- 4.5 텅스텐산나트륨 제조 시 안전 예방 조치

제 5 장 텅스텐산나트륨의 산업 생산 공정

- 5.1 텅스텐산나트륨 원료 선정(석회석, 울프라마이트, 페텅스텐 원료)
- 5.2 텅스텐산나트륨의 습식야금 공정(알칼리 침출, 이온 교환)
- 5.3 텅스텐산나트륨의 소성 및 용해 공정
- 5.4 텅스텐산나트륨의 산업적 결정화 및 건조 기술
- 5.5 텅스텐산나트륨 생산 장비 및 자동화 제어
- 5.6 텅스텐산나트륨 부산물의 처리 및 재활용

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6 텅스텐산나트륨의 품질 관리 및 테스트

- 6.1 텅스텐산나트륨 순도 분석 방법 (ICP-MS, XRF 등)
- 6.2 텅스텐산나트륨의 불순물(Mo, Fe, Ca 등) 검출
- 6.3 텅스텐산나트륨의 결정 형태 및 입자 크기 분석
- 6.4 텅스텐산나트륨 용액의 pH 및 농도 측정
- 6.5 텅스텐산나트륨에 대한 국제 및 국내 시험 기준(ISO, GB/T)

제 7 장 텅스텐산나트륨의 산업적 응용

- 7.1 텅스텐 야금(APT, 텅스텐 분말 제조)에서 텅스텐산나트륨의 역할
- 7.2 촉매 및 조촉매로서의 텅스텐산나트륨(석유화학 산업, 산화 반응)
- 7.3 안료 및 염료(텅스텐 기반 안료)에서의 텅스텐산나트륨의 응용
- 7.4 내화재 및 난연제에서의 텅스텐산나트륨의 역할
- 7.5 전기 도금 및 표면 처리에 있어서 텅스텐산나트륨의 적용

제 8 장 텅스텐산나트륨의 의학적 및 생물학적 응용

- 8.1 당뇨병 연구(인슐린 시뮬레이션)에서 텅스텐산나트륨의 응용
- 8.2 텅스텐산나트륨의 항균 및 항바이러스 특성
- 8.3 바이오 이미징 및 라벨링 시약에서의 텅스텐산나트륨의 적용
- 8.4 텅스텐산나트륨의 독성 및 생물안전성 평가
- 8.5 임상 시험 및 약물 개발에서 텅스텐산나트륨의 전망

제 9 장 텅스텐산나트륨의 환경 및 에너지 응용

- 9.1 폐수 처리에서의 텅스텐산나트륨의 적용(중금속 흡착, 인 제거)
- 9.2 광촉매 물질로서의 텅스텐산나트륨(유기오염물질 분해)
- 9.3 배터리 및 에너지 저장 재료(나트륨 이온 배터리)에서의 텅스텐산나트륨의 응용
- 9.4 태양열 및 열에너지 변환 재료에서의 텅스텐산나트륨의 역할
- 9.5 환경 개선에 있어서 텅스텐산나트륨의 적용

제 10 장 텅스텐산나트륨의 기타 새로운 응용 분야

- 10.1 텅스텐산나트륨 기반 나노소재 및 복합소재
- 10.2 3D 프린팅 및 적층 제조에 있어서 텅스텐산나트륨의 적용
- 10.3 광학 및 전자 장치(전기변색 재료)에서 텅스텐산나트륨의 역할
- 10.4 농업 및 식물 영양(미량 원소 보충)에 있어서 텅스텐산나트륨의 응용
- 10.5 항공우주 및 방위 분야에서 텅스텐산나트륨의 잠재력
- 10.6 유연 전자기기에서의 텅스텐산나트륨의 응용
- 10.7 양자점 및 광전 응용 분야
- 10.8 스마트 센서에서의 텅스텐산나트륨
- 10.9 에너지 수확 및 저장
- 10.10 스마트 코팅 및 표면 엔지니어링
- 10.11 과제와 미래 동향

11 텅스텐산나트륨에 대한 이론적 연구

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

- 11.1 텅스텐산나트륨의 양자화학 계산
- 11.2 텅스텐산나트륨의 분자 동역학 시뮬레이션
- 11.3 텅스텐산나트륨의 열역학적 및 운동학적 분석
- 11.4 텅스텐산나트륨의 표면화학 및 계면거동
- 11.5 텅스텐산나트륨의 전자구조 연구

제 12 장 텅스텐산나트륨 실험 연구의 진행

- 12.1 텅스텐산나트륨의 새로운 제조 방법 탐색
- 기능화된 텅스텐산나트륨 재료의 합성
- 12.3 텅스텐산나트륨의 촉매 성능 최적화
- 12.4 생의학 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용에 관한 실험 데이터
- 12.5 환경 응용 분야에서의 텅스텐산나트륨 성능 시험

제 13 장 텅스텐산나트륨에 관한 학제간 연구

- 13.1 텅스텐산나트륨과 재료과학의 결합
- 13.2 화학공학 및 공정 최적화에 있어서 텅스텐산나트륨의 응용
- 13.3 환경 과학 및 지속 가능한 개발에서 텅스텐산나트륨의 역할
- 13.4 생명공학 및 의학 분야의 학제간 연구에 있어서 텅스텐산나트륨의 응용
- 13.5 텅스텐산나트륨 연구에 데이터 과학 적용

제 14 장 텅스텐산나트륨의 세계 시장

- 14.1 텅스텐산나트륨 생산 및 소비 개요
- 14.2 주요 텅스텐산나트륨 생산국(중국, 미국, 러시아 등)
- 14.3 텅스텐산나트륨의 시장 수요 및 응용 분야 분포
- 14.4 텅스텐산나트륨의 가격 추세 및 영향 요인
- 14.5 텅스텐산나트륨 시장의 경쟁 및 주요 기업 분석

제 15 장 텅스텐산나트륨의 규정 및 표준

- 15.1 텅스텐산나트륨에 대한 국제 표준(ISO, ASTM)
- 15.2 텅스텐산나트륨에 대한 중국 국가 표준(GB/T)
- 15.3 텅스텐산나트륨의 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS)
- 의료용 및 식품용 텅스텐산나트륨에 대한 규정 준수 요건
- 15.5 텅스텐산나트륨의 지적 재산권 및 특허 보호
- 15.6 CTIA GROUP LTD 텅스텐산나트륨 MSDS

제 16 장 텅스텐산나트륨의 환경 영향

- 16.1 텅스텐산나트륨 생산의 환경 발자국
- 16.2 텅스텐산나트륨 폐수 및 폐가스 처리 기술
- 16.3 텅스텐산나트륨의 토양 및 수질 오염 위험
- 16.4 순환 경제 및 텅스텐산나트륨의 폐기물 회수
- 16.5 텅스텐산나트륨 녹색생산기술 개발

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

제 17 장 텅스텐산나트륨의 기술 발전 동향

- 17.1 새로운 텅스텐산나트륨 소재의 연구 개발
- 17.2 텅스텐산나트륨의 지능형 생산 기술
- 17.3 신에너지 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 가능성
- 17.4 텅스텐산나트륨의 학제간 응용 확대
- 17.5 텅스텐산나트륨 연구에 인공지능 적용

부록

부록 1: 텅스텐산나트륨 용어집

텅스텐산나트륨 관련 용어 및 정의

부록 2: 텅스텐산나트륨 참고문헌

부록 3: 텅스텐산나트륨 데이터 시트

- 3.1 텅스텐산나트륨의 물리적 및 화학적 특성
- 3.2 텅스텐산나트륨 생산 공정 매개변수
- 텅스텐산나트륨 응용분야 성능 비교표
- 3.4 글로벌 텅스텐산나트륨 시장 통계

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



머리말

(Na_2WO_4) 을 포괄적이고 체계적으로 소개하는 단행본으로 , 연구자, 엔지니어, 학생 및 업계 종사자에게 권위 있고 상세한 참고 자료를 제공하고자 합니다. 중요한 무기 화합물인 텅스텐산나트륨은 산업, 의학, 환경 및 신에너지 분야에서 독보적인 가치를 지니고 있으며, 그 연구와 응용 분야는 끊임없이 확장되고 있습니다. 본 서문에서는 이 책의 저술 목적을 설명하고, 텅스텐산나트륨의 개발 역사를 검토하며, 책의 구성을 소개하고, 대상 독자와 적용 사례를 명확히 설명합니다.

1.1 텅스텐산나트륨 백과사전 편찬의 목적과 의의

텅스텐산나트륨은 뛰어난 화학적 안정성, 촉매 성능, 그리고 생물학적 활성으로 인해 텅스텐 야금, 석유화학 산업, 하수 처리 및 당뇨병 연구에서 핵심적인 역할을 합니다. 그러나 기존 문헌들은 대부분 분산되어 있으며 체계적인 통합이 부족합니다. 본 저서는 이러한 공백을 메우고 텅스텐산나트륨의 화학적 특성, 제조 방법, 응용 분야, 과학적 연구, 산업 현황 및 환경 영향을 종합하여 학술 연구 및 산업 응용을 위한 원스톱 자료를 제공하고자 합니다. 본 저서는 텅스텐산나트륨에 대한 이론적 및 실무적 지식을 정리할 뿐만 아니라, 신에너지 및 나노기술과 같은 최첨단 분야에서의 텅스텐산나트륨의 발전 잠재력을 전망하고 관련 분야의 혁신과 지속가능한 발전을 촉진하고자 합니다.

1.2 텅스텐산나트륨의 역사와 발전 개요

텅스텐산나트륨의 발견과 응용은 19 세기 초, 화학자들이 텅스텐 광석에서 텅스텐산을 추출하고 나트륨염과 반응시켜 텅스텐산나트륨을 처음 합성한 데서 유래합니다. 초기에는 텅스텐산나트륨이 주로 분석화학에서 인산염과 단백질 정량 시약으로

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

사용되었습니다. 20 세기에는 텅스텐 야금 산업의 발전으로 텅스텐산나트륨이 과라 텅스텐산암모늄 (APT)과 텅스텐 분말 생산을 위한 중요한 중간체가 되었습니다 . 최근 몇 년 동안 생물의학(인슐린 모방 등), 환경과학(오염물질의 광촉매 분해 등), 에너지 분야(나트륨 이온 전지 등)에서 텅스텐산나트륨의 응용 연구가 빠르게 성장했습니다. 기술 발전과 학제간 통합은 텅스텐산나트륨의 응용 범위를 더욱 확장하여 현대 재료 과학과 친환경 화학의 중심이 되었습니다.

1.3 텅스텐산나트륨 백과사전의 구조 및 사용 안내

이 책은 텅스텐산나트륨의 기본 지식, 제조 공정, 응용 분야, 과학 연구, 산업 시장, 규제 기준 및 환경 영향을 다루는 17 개 장으로 구성되어 있습니다. 1 장부터 3 장까지는 텅스텐산나트륨의 화학적 및 물리적 특성을 소개하고, 4 장부터 6 장까지는 실험실 및 산업 제조 과정을 논의하며, 7 장부터 10 장까지는 산업, 의학, 환경 및 신홍 분야에서의 응용 분야를 자세히 설명합니다. 11 장부터 13 장까지는 이론 및 실험 연구에 중점을 두고, 14 장부터 17 장까지는 시장, 규제 및 미래 동향을 분석합니다. 또한 부록에는 용어집, 참고 문헌, 데이터 시트 및 특허 목록이 수록되어 있으며, 색인을 통해 원하는 정보를 빠르게 검색할 수 있습니다. 독자는 필요에 따라 장을 선택하여 읽거나, 텅스텐산나트륨의 전반적인 내용을 심층적으로 이해하기 위해 장을 선택하여 읽을 수 있습니다.

1.4 텅스텐산나트륨 백과사전의 대상 독자 및 적용 시나리오

이 책은 다음을 포함하되 이에 국한되지 않는 다양한 수준의 독자를 대상으로 합니다.

- **학술 연구자** : 화학, 재료 과학, 환경 과학, 생물 의학 분야의 학자와 학생은 이 책에 있는 이론적 연구, 실험 데이터, 특허 목록을 참조할 수 있습니다.
- **산업 종사자** : 텅스텐 야금, 촉매 제조, 폐수 처리 및 신에너지 산업의 엔지니어와 기술자는 준비 공정, 품질 관리 및 시장 분석 내용을 활용하여 생산을 최적화할 수 있습니다.
- **정책 입안자** : 텅스텐산나트륨의 환경 영향과 규제 기준에 주의를 기울이고 지속 가능한 산업 정책을 수립하세요.
- **교육자 여러분** : 이 책은 텅스텐산나트륨의 응용 분야에 대한 학생들의 관심을 불러일으키기 위해 화학 및 재료 과학 수업에서 참고 자료로 사용할 수 있습니다.

이 책은 학술 연구, 산업 발전, 정책 수립, 교육 및 훈련 등 다양한 분야에 적합합니다. 텅스텐산나트륨 분야의 권위 있는 지침서가 되는 것을 목표로 합니다 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 1 장 텅스텐산나트륨 소개

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 중요한 무기 화합물입니다. 뛰어난 화학적 안정성, 촉매 성능 및 생물학적 활성 으로 인해 산업, 의학, 환경 과학 및 신에너지 분야에서 널리 사용됩니다. 이 장에서는 텅스텐산나트륨 및 관련 화합물의 기본 정의, 물리적·화학적 특성, 결정 구조 및 특성을 체계적으로 소개하고, 이후 장들에서 텅스텐산나트륨의 제조, 응용 및 연구를 위한 이론적 토대를 마련하는 것을 목표로 합니다.

1.1 텅스텐산나트륨의 정의 및 화학식

) 과 텅스텐산 이온(WO_4^{2-}) 으로 구성된 이온성 화합물로 , 화학식은 Na_2WO_4 입니다 . 텅스텐산 이온 중 텅스텐(W)은 +6 산화수이며, 배위수는 4로 사면체 구조를 이룹니다. 텅스텐산나트륨은 일반적으로 무수물 (Na_2WO_4) 또는 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 형태로 존재하며, 텅스텐 야금에서 중간체, 촉매 전구체, 생의학 시약으로 널리 사용됩니다. 무수물에서 분자량은 293.82 g/mol 이고, 이수화물에서 분자량은 329.85 g/mol 입니다. 텅스텐산나트륨은 물에 대한 용해도가 높고, 농도와 환경 조건에 따라 보통 pH 값이 8~9 인 알칼리성 용액을 형성할 수 있습니다.

1.2 텅스텐산나트륨의 물리적 특성

텅스텐산나트륨의 물리적 특성은 형태(무수물 또는 수화물)에 따라 약간씩 다릅니다. 주요 물리적 특성은 다음과 같습니다.

- **외관** : 무수텅스텐산나트륨은 흰색 또는 약간 노란색의 결정성 분말이고, 이수화물은 투명하거나 흰색의 사방정계 결정입니다.
- **밀도** : 무수텅스텐산나트륨의 밀도는 약 4.18g/cm^3 이고, 이수화물의 밀도는 약 3.25g/cm^3 입니다.
- **녹는 점** : 무수 텅스텐산나트륨의 녹는점은 698°C 입니다. 고온에서 산화텅스텐(WO_3) 과 산화나트륨 (Na_2O) 으로 분해될 수 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **용해도** : 텅스텐산나트륨은 물에 대한 용해도가 높아 20°C 에서 약 73g/100mL 이며, 온도가 증가함에 따라 용해도가 약간 증가합니다. 에탄올과 에테르와 같은 유기 용매에는 녹지 않습니다.
- **흡습성** : 이수화물은 공기 중에서 안정하고, 무수화물은 약간의 흡습성을 지니므로 밀폐 용기에 보관해야 합니다. 이러한 물리적 특성으로 인해 텅스텐산나트륨은 가공 및 보관이 용이하며, 다양한 산업 및 실험 용도에 적합합니다.

1.3 텅스텐산나트륨의 화학적 특성

텅스텐 의 높은 산화 상태에 의해 결정되며 다음과 같은 특성을 보입니다.

- **산성 및 알칼리성** : 텅스텐산나트륨 수용액은 텅스텐산 이온이 부분 가수분해되어 텅스텐산 수산화물(HWO_4^-) 을 형성하기 때문에 약알칼리성을 띕니다 . 강산과 반응하여 불용성 텅스텐산(H_2WO_4) 을 형성할 수 있습니다 .
예: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$.
- **산화환원 특성** : 텅스텐은 +6 가에서 안정하며, 텅스텐산나트륨은 쉽게 산화되지 않습니다. 그러나 강한 환원제(예: 아연 분말)를 사용하면 텅스텐을 낮은 원자가로 환원시켜 청색 텅스텐 산화물을 형성할 수 있습니다.
- **복합화 능력** : 텅스텐산 이온은 다양한 금속 이온(예: Fe^{3+} , Cu^{2+}) 과 안정한 복합물을 형성할 수 있으며 분석 화학 및 촉매 설계에 사용됩니다.
- **열 안정성** : 텅스텐산 나트륨은 실온에서는 안정적이지만, 700°C 이상으로 가열하면 분해되기 시작하여 산화텅스텐과 산화나트륨을 생성합니다.
- **촉매 활성** : 텅스텐산나트륨은 산화 반응에서 촉매 활성을 나타내며, 석유화학 및 유기 합성에서 조촉매로 자주 사용됩니다. 이러한 화학적 특성은 산업 촉매, 분석화학 및 생의학 분야에서 텅스텐산나트륨의 다양한 활용 가능성을 결정합니다.

1.4 텅스텐산나트륨의 결정구조 및 분자적 특성

텅스텐산나트륨의 결정 구조는 형태에 따라 다양합니다. 무수 텅스텐산나트륨은 일반적으로 입방정계 결정 구조(공간군 Fd-3m)를 가지며, 나트륨 이온과 텅스텐산 이온이 이온 결합으로 배열되어 있습니다. 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)은 사방정계 결정(공간군 Pnma) 으로 , 물 분자 가 텅스텐 산 이온과 나트륨 이온에 수소 결합으로 결합되어 결정의 안정성을 향상시킵니다 .

텅스텐산 이온(WO_4^{2-}) 은 규칙적인 사면체 구조를 가지고 있으며, WO 결합 길이는 약 1.78Å 이고 결합각은 거의 109.5°입니다.적외선 분광법(IR)은 텅스텐산의 특징적인 흡수 피크가 800-900 cm^{-1} 에 있으며 , 이는 WO 의 신축 진동에 기인하는 것으로 나타났습니다.X 선 회절(XRD) 분석은 텅스텐산나트륨의 격자 매개변수가 텅스텐산 칼슘(CaWO_4) 과 유사하여 텅스텐산 의 구조적 공통성을 반영하는 것으로 나타났습니다.분자 동역학 시뮬레이션은 텅스텐산나트륨이 수용액에서 사면체 구조를 유지 하지만 고농도에서는 다텅스텐산 (예: $[\text{W}_2\text{O}_7]^{2-}$) 을 형성하여 화학적 거동에 영향을 미칠 수 있음을 추가로 보여줍니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.5 텅스텐산나트륨의 이성질체 및 관련 화합물

텅스텐산나트륨 자체에는 이성질체가 없지만 유사한 화학적 특성을 갖는 화합물로는 다른 텅스텐산염과 텅스텐산 유도체가 있으며, 주로 다음과 같습니다.

- **다른 텅스텐산염** : 텅스텐산칼륨(K_2WO_4) 및 텅스텐산암모늄($(NH_4)_2WO_4$)은 유사한 화학적 특성을 가지고 있지만 용해도와 결정 구조가 다르며 촉매 및 안료에 사용됩니다.
- **폴리텅스텐산염** : 텅스텐산나트륨은 산성 조건 하에서 다핵성 텅스텐산나트륨($Na_6[W_6O_{19}]$)과 같은 다핵성 텅스텐산으로 중합될 수 있으며, 이는 광촉매 물질에 사용됩니다.
- **텅스텐 산** : 텅스텐 산나트륨과 산의 반응으로 생성되는 텅스텐산(H_2WO_4)은 노란색 침전물이며 텅스텐 야금의 중요한 중간체입니다.
- **산화 텅스텐** : 고온 분해 생성물인 산화텅스텐(WO_3)은 전기변색 소자와 에너지 저장 재료에 널리 사용됩니다.
- **텅스텐산나트륨 착물** : 텅스텐산나트륨과 유기 리간드가 형성하는 착물과 같은 것으로, 생의학 및 나노기술 분야에 사용됩니다. 이러한 관련 화합물의 특성은 텅스텐산나트륨과 밀접한 관련이 있으며, 이들은 텅스텐 화학의 풍부한 시스템을 구성하여 후속 응용 연구에 다양한 가능성을 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 2 장 텅스텐산나트륨의 분류 및 형태

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 다목적 무기 화합물이며, 그 형태와 분류는 산업, 과학 연구 및 의학 분야에서의 응용에 직접적인 영향을 미칩니다. 이 장에서는 텅스텐산나트륨의 무수물 및 이수화물 형태, 다양한 순도 등급, 용액 및 고체 형태, 그리고 포장 및 보관 요건을 체계적으로 소개하며, 이후 텅스텐산나트륨의 제조 공정 및 응용 분야에 대한 논의를 위한 기초를 제공합니다.

텅스텐 산나트륨의 무수물 및 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

텅스텐산나트륨은 주로 무수 형태 (Na_2WO_4) 와 이수화물 형태 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 로 존재하며, 둘 다 구조와 응용 분야에서 고유한 특성을 가지고 있습니다. 무수 텅스텐산나트륨은 분자량이 293.82g/mol, 밀도가 약 4.18g/cm³, 녹는점이 698°C 인 흰색 또는 약간 노란색 결정성 분말입니다. 일반적으로 텅스텐 분말 제조 및 촉매 합성과 같은 고순도 원료가 필요한 고온 공정이나 시나리오에서 사용됩니다. 이수화물은 분자량이 329.85g/mol 이고 밀도가 약 3.25g/cm³인 투명하거나 흰색의 사방정계 결정입니다. 상온에서 더 안정하고 보관 및 운반이 쉽고 실험실 분석 및 수용액 제조에 자주 사용됩니다. 이수화물의 두 물 분자는 수소 결합을 통해 텅스텐 이온과 결합되어 있으며, 100°C 이상으로 가열하면 무수물로 탈수될 수 있습니다. 두 형태 모두 물에 용해되지만, 이수화물은 습한 환경에서 흡습성이 낮아 장기 보관에 적합합니다.

2.2 텅스텐산나트륨의 다양한 순도 수준(산업용, 분석용, 제약용)

텅스텐산나트륨은 용도와 불순물 함량에 따라 다양한 순도 등급으로 분류되며, 주로 산업용 등급, 분석용 등급, 제약용 등급으로 분류됩니다.

- **산업용** : 순도는 일반적으로 98~99%이며, 몰리브덴(Mo)과 철(Fe)과 같은 미량 불순물을 함유하고 있습니다. 텅스텐 야금(예: 파라텅스텐산 암모늄 생산),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

촉매 제조 및 안료 제조에 적합합니다. 비용이 저렴하고 대규모 산업 수요를 충족합니다.

- **분석 순도(AR)** : 순도 $\geq 99.5\%$, 불순물 함량이 엄격하게 관리되며(예: Mo $< 0.01\%$), 인산염 정량 및 생화학 실험과 같은 실험실 분석에 사용됩니다. 분석적으로 순수한 텽스텐산나트륨은 이온 교환이나 재결정과 같은 여러 단계의 정제 과정을 거쳐야 합니다.
- **제약 등급** : 순도 $\geq 99.9\%$ 로, 약전 기준(예: USP 또는 CP)에 부합하며 증금속 및 미생물 함량이 극히 낮아 생물학 연구(예: 당뇨병 치료) 및 약물 개발에 사용됩니다. 제약 등급 텽스텐산나트륨은 GMP(우수 의약품 제조 기준) 요건을 준수해야 합니다. 다양한 순도 수준의 선택은 적용 상황에 따라 달라집니다. 예를 들어, 산업용 등급은 비용에 민감한 경우에 적합한 반면, 제약 등급은 안전성과 생체 적합성을 우선시합니다.

2.3 텽스텐산나트륨의 용액 및 고체 형태

텽스텐산나트륨은 사용 요건에 따라 고체 또는 용액 형태로 존재할 수 있습니다. 고체 형태에는 무수 텽스텐산나트륨 분말과 이수화물 결정이 포함되며, 이는 보관, 운반 및 정확한 무게 측정이 용이하여 촉매 제조, 분말 야금 및 실험실 합성에 적합합니다. 용액 형태는 일반적으로 텽스텐산나트륨 수용액이며, 농도 범위는 묽은 용액(1~5% w/v)에서 포화 용액(20°C 에서 약 40% w/v)까지이며, 하수 처리, 생물학 실험 및 전기 도금 공정에 널리 사용됩니다. 텽스텐산나트륨 용액은 약알칼리성(pH 8~9)이며, 고농도에서 결정이 침전될 수 있습니다. 안정성을 유지하려면 온도와 pH 를 조절해야 합니다. 광촉매 또는 배터리 연구와 같은 특정 응용 분야에서는 텽스텐산나트륨 용액을 유기 용매(예: 에틸렌 글리콜)와 혼합하여 콜로이드 또는 전구체 용액을 형성할 수 있습니다. 고체와 용액 형태 간의 전환은 용해 열 효과와 불순물 유입 위험을 고려해야 합니다.

2.4 텽스텐산나트륨의 포장 및 보관 요건

텽스텐산나트륨의 포장 및 보관은 품질과 수명에 직접적인 영향을 미칩니다. 주요 요건은 다음과 같습니다.

- **포장** : 고체 텽스텐산나트륨은 일반적으로 습기 흡수 및 오염을 방지하기 위해 방습재로 코팅된 밀봉된 비닐봉지, 폴리에틸렌 통 또는 유리병에 포장됩니다. 산업용 제품은 대부분 25kg 또는 50kg 통에 포장되며, 분석용 및 제약용 제품은 주로 100g 에서 1kg 까지의 소용량으로 포장됩니다. 용액은 농도와 배치 번호가 표시된 내식성 플라스틱 통이나 유리 용기에 포장됩니다.
- **보관 조건** : 텽스텐산나트륨은 서늘하고 건조하며 통풍이 잘 되는 곳에 보관해야 하며, 온도는 5~30°C, 상대 습도는 60% 미만으로 유지해야 합니다. 무수 텽스텐산나트륨은 특히 방습성이 뛰어나야 하며, 이수화물은 비교적 안정하지만 고온을 피해야 합니다. 용액은 휘발이나 결정화를 방지하기 위해 밀폐 용기에 보관 해야 합니다.
- **안전 참고 사항** : 텽스텐산나트륨은 저독성 화학물질이지만, 피부 접촉이나 분진 흡입 시 자극을 유발할 수 있으므로 보관 장소에는 보호 장비를 착용해야 합니다. 의약품 등급 제품은 교차 오염을 방지하기 위해 격리 보관해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **유통 기한** : 적절한 조건 하에서 고체 텅스텐산나트륨의 유통기한은 2~3 년에 달할 수 있습니다. 용액은 6~12 개월 이내에 사용하는 것이 좋으며, pH 와 불순물 함량을 정기적으로 검사해야 합니다. 표준화된 포장 및 보관을 통해 산업 생산, 실험실 연구 및 의료 분야에서 텅스텐산나트륨의 안정성과 안전성을 보장합니다.

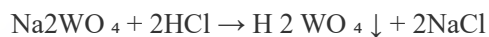


제 3 장 텅스텐산나트륨의 화학 반응

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 화학적으로 활성인 무기 화합물이며, 그 반응 특성은 산업 생산, 분석화학 및 촉매 분야에서 매우 중요합니다. 본 장에서는 텅스텐산나트륨과 산의 반응, 금속 이온과의 복합 반응, 산화환원 특성, 열분해 및 고온 반응, 그리고 촉매 효과와 반응 메커니즘을 체계적으로 논의하여 후속 제조 공정 및 응용 연구에 이론적 근거를 제공합니다.

3.1 텅스텐산나트륨과 산의 반응(텅스텐산 등을 생성)

텅스텐산나트륨은 수용액에서 약알칼리성(pH 8-9)을 띠며, 산과의 반응은 가장 흔한 화학적 거동 중 하나입니다. 텅스텐산나트륨이 강산(염산, 황산 등)과 반응하면 텅스텐산 이온(WO_4^{2-}) 이 양성자화되어 불용성 텅스텐산(H_2WO_4) 침전을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.

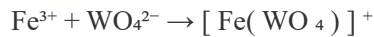


텅스텐산은 노란색 고체로 물에 약간 녹으며(용해도 약 0.02 g/100 mL), 산성 환경에서 안정하고 텅스텐 야금의 중간체로 자주 사용됩니다. 반응 속도는 산 농도, 온도 및 교반 조건에 영향을 받습니다. 높은 산 농도는 침전 형성을 가속화할 수 있습니다. 또한, 텅스텐산나트륨은 약산(예: 아세트산)과 느리게 반응하여 부분적으로 양성자화된 중간체(예: HWO_4^-) 를 형성할 수 있습니다. 강산성 조건에서 텅스텐산은 폴리텅스텐 산(예: $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$) 으로 중합될 수 있으며, 이는 폴리산 촉매 제조에 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 텅스텐산나트륨과 금속이온의 착화반응

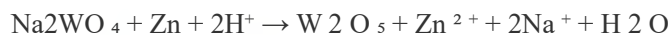
텅스텐산나트륨의 텅스텐산 이온은 강력한 배위능을 가지고 있으며, 다양한 금속 이온(예: Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+})과 안정한 착물을 형성할 수 있습니다. 이러한 착물은 분석 화학 및 촉매 설계에 널리 사용됩니다. 예를 들어, 텅스텐산은 철(III) 이온과 반응하여 가용성 철-텅스텐산 착물을 형성하며, 이는 단백질 침전제로 자주 사용됩니다. 반응식은 다음과 같습니다.



분석화학에서 텅스텐산나트륨은 몰리브덴산 (MoO_4^{2-}) 및 인산(PO_4^{3-})과 경쟁적으로 결합하여 분광 분석 및 비색 측정을 위한 이소폴리산 구조를 형성합니다. 또한, 텅스텐산나트륨과 전이 금속 이온(예: Co^{2+} , Mn^{2+})의 착물은 촉매 산화 반응에서 우수한 성능을 보이며, 착물의 안정성은 자외선-가시광선 분광법(UV-Vis) 및 적외선 분광법(IR)으로 측정하는 경우가 많습니다. 착물 반응의 선택성은 pH, 이온 농도 및 리간드 경쟁의 영향을 받으며, 반응 조건은 정밀하게 제어되어야 합니다.

3.3 텅스텐산나트륨의 산화환원반응 특성

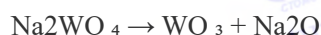
텅스텐산나트륨(Sodium Tungstate)의 텅스텐은 가장 높은 산화 상태인 +6 산화 상태(W^{6+})에 있습니다. 따라서 일반적인 조건에서는 쉽게 산화되지 않지만, 강한 환원제에 의해 낮은 원자가 상태(예: W^{5+} 또는 W^{4+})로 환원될 수 있습니다. 예를 들어, 산성 용액에서 텅스텐산나트륨은 아연 분말과 반응하여 청색 산화텅스텐(W_2O_5 또는 WO_2)을 형성하며, 반응식은 다음과 같습니다.



이 청색 산화물은 반도체 특성을 가지며 전기변색 재료 및 센서에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨의 산화환원전위는 약 -0.1V(표준 수소 전극 대비)이며, 용액 pH와 리간드 환경의 영향을 받습니다. 촉매 응용 분야에서 텅스텐산나트륨은 과산화수소(H_2O_2) 또는 산소와 시너지 효과를 발휘하여 유기물의 선택적 산화를 촉진하는 산화제의 운반체로 자주 사용됩니다. 전기화학적 연구에 따르면 텅스텐산나트륨은 전극 표면에서 가역적인 단일 전자 이동을 할 수 있으며, 이는 에너지 저장 및 전기촉매 반응에 적합합니다.

3.4 텅스텐산나트륨의 열분해 및 고온반응

텅스텐산나트륨은 실온에서는 화학적으로 안정하지만, 고온에서는 분해되거나 상이 변합니다. 무수 텅스텐산나트륨은 약 698°C로 가열하면 녹기 시작하고, 800°C 이상으로 더 가열하면 산화텅스텐(WO_3)과 산화나트륨(Na_2O)으로 분해됩니다. 반응식은 다음과 같습니다.



이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)은 먼저 100~150°C에서 결정수를 잃고 무수 형태로 전환됩니다. 열중량 분석(TGA)과 시차 주사 열량측정법(DSC)은 텅스텐 산나트륨의 분해 과정이 흡열 반응이며 분해 생성물의 형태와 순도는 가열 속도와 분위기(예:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

공기 또는 불활성 가스)의 영향을 받는다는 것을 보여줍니다. 고온 환원 분위기(예: H_2)에서 텅스텐산나트륨은 텅스텐 분말 생산에 널리 사용되는 금속 텅스텐을 직접 생성할 수 있습니다. 또한 텅스텐산나트륨은 고온에서 탄산염이나 규산염과 반응하여 고온 구조 재료에 사용되는 텅스텐 기반 세라믹 재료를 생성합니다.

3.5 텅스텐산나트륨의 촉매효과 및 반응기구

텅스텐산나트륨은 다양한 촉매 반응, 특히 산화, 탈수, 에스테르화 반응에서 탁월한 성능을 보입니다. 텅스텐산나트륨의 촉매 활성은 주로 루이스 산도와 텅스텐산 이온의 배위능에 기인합니다. 예를 들어, 텅스텐산나트륨은 과산화수소와 결합하여 과산화 텅스텐산($[WO(O_2)_2]^{2-}$)을 형성하며, 이는 알코올을 알데히드나 케톤으로 산화시키는 촉매 작용을 합니다. 반응 메커니즘은 다음과 같습니다.

1. **활성종 생성** : 텅스텐산은 H_2O_2 와 배위결합하여 과산화텅스텐 산을 형성합니다.
2. **기질 산화** : 과산화텅스텐 산의 산소 원자가 기질(예: 알코올)로 전달되어 산화 생성물을 생성합니다.
3. **촉매 재생** : 텅스텐산은 초기 상태로 돌아가고 촉매 작용은 계속됩니다.

석유화학 분야에서 텅스텐산나트륨은 올레핀 에폭시화 및 방향족 수산화 반응을 촉진하는 조촉매로 사용됩니다. 광촉매 분야에서는 텅스텐산나트륨을 반도체 물질(예: TiO_2)과 혼합하여 가시광선 반응을 향상시키고 유기 오염물질을 분해합니다. 촉매 반응 메커니즘은 밀도 함수 이론(DFT)과 현장 분광법(예: 라만 분광법, XPS)을 통해 연구되었으며, 이를 통해 텅스텐산나트륨의 전자 전달 및 표면 활성 부위를 확인할 수 있었습니다. 촉매 효율은 pH, 온도 및 조촉매의 영향을 받으며, 효율적인 전환을 위해서는 반응 조건을 최적화해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 4 장 텅스텐산나트륨의 실험실 제조 방법

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 다양한 연구 및 교육 요구에 적합한 다양한 실험실 제조 방법을 갖춘 중요한 화학 시약입니다. 이 장에서는 텅스텐 광석에서 텅스텐산나트륨을 추출하는 방법, 화학 합성(텅스텐산과 수산화나트륨의 반응), 전기화학적 제조 기술, 실험실 정제 및 결정화 기술, 그리고 제조 과정 중 안전 예방 조치를 체계적으로 소개하여 연구자들에게 실질적인 지침을 제공하고 이후 산업 생산(5 장)에 대한 기초를 마련합니다.

4.1 텅스텐 광석으로부터 텅스텐산나트륨 추출

텅스텐 광석(예: 회중석 CaWO_4 또는 철망간석 FeWO_4) 은 텅스텐산나트륨 제조의 주요 원료입니다. 실험실 추출은 일반적으로 알칼리 침출법을 사용합니다. 먼저, 분쇄된 텅스텐 광석을 고온($100\sim 150^\circ\text{C}$)에서 수산화나트륨(NaOH) 용액과 반응시켜 가용성 텅스텐산나트륨을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



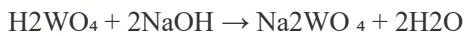
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 반응으로 생성된 침전물은 여과를 통해 분리됩니다. 용액에는 규소와 인과 같은 불순물이 포함될 수 있으며, 이는 산으로 pH 8-9 로 중화해야 합니다. 불순물이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

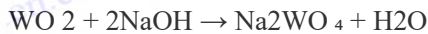
침전되면 텅스텐산나트륨 조용액이 얻어집니다. 이후, 증발 결정화 또는 에탄올을 첨가하여 침전을 촉진하여 텅스텐산나트륨 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)을 얻습니다. 이 방법은 천연 광물로부터 약 85 ~90%의 수율로 텅스텐산나트륨을 제조하는 데 적합하지만, 부산물의 축적을 방지하기 위해 알칼리 농도와 반응 시간을 조절해야 합니다.

4.2 텅스텐산나트륨의 화학 합성 (텅스텐산나트륨과 수산화나트륨의 반응)

화학 합성법은 텅스텐산(H_2WO_4) 또는 산화텅스텐(WO_3)을 원료로 사용하고 수산화나트륨과 반응시켜 텅스텐산나트륨을 생성하는데, 이는 소규모 실험실에서 고순도 제품을 제조하는 데 적합합니다. 일반적인 반응은 다음과 같습니다.



또는



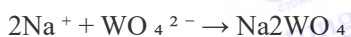
실험 단계:

1. 적당량의 탈이온수를 텅스텐산이나 산화텅스텐에 넣고 교반하여 현탁액을 형성합니다.
2. 수산화나트륨 용액(1-2 M)을 천천히 첨가하고 고체가 완전히 녹을 때까지 저어주면서 80-100 °C로 가열합니다.
3. 용액을 여과하여 반응하지 않은 불순물을 제거하고, 생성된 투명한 용액을 냉각하고 감압 하에서 결정화하거나 농축하여 텅스텐산나트륨 결정을 얻습니다.
4. 결정을 소량의 차가운 물로 세척하고 건조하여 순도 $\geq 99\%$ 의 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 얻습니다.

이 방법은 조작이 간편하고 수율이 90% 이상이며, 분석적으로 순수한 텅스텐산나트륨 또는 제약 등급의 텅스텐산나트륨 제조에 적합합니다. 고순도 원료를 사용하고 pH(8-10)를 조절하면 제품 품질을 더욱 향상시킬 수 있습니다.

4.3 텅스텐산나트륨의 전기화학적 제조 기술

전기화학적 방법은 텅스텐 또는 텅스텐 화합물을 전기분해하여 텅스텐산나트륨을 제조하는 방법으로, 환경 친화적이고 효율적입니다. 실험 장치는 일반적으로 텅스텐 금속 양극, 스테인리스 스틸 음극, 그리고 수산화나트륨(NaOH) 전해질 용액(0.5~1 M)을 포함합니다. 직류(전압 5~10 V)를 인가하면 텅스텐 양극이 산화되어 용해되어 텅스텐 이온을 생성하고, 이 이온은 용액 속의 나트륨 이온과 결합하여 텅스텐산나트륨을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



전기분해 공정 중 음극에서 수소가 생성되므로 안전을 위해 환기가 필요합니다. 전해질을 여과하여 미량의 불용성 불순물을 제거한 후, 증발 및 결정화를 통해 텅스텐산나트륨을 얻습니다. 전기화학적 방법의 장점은 원료 이용률이 높아(95%에

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

가까움) 고순도 텅스텐산나트륨 제조에 적합하다는 점입니다. 하지만 장비 비용이 상대적으로 높고, 효율 향상을 위해 전류 밀도($0.1\sim0.5\text{ A/cm}^2$)와 전기분해 시간을 최적화해야 합니다.

4.4 텅스텐산나트륨의 실험실 정제 및 결정화 기술

실험실에서 제조된 텅스텐산나트륨에는 미량 불순물(예: 폴리브덴, 철, 칼슘)이 포함되어 있는 경우가 많으므로 품질 향상을 위해 정제가 필요합니다. 일반적인 정제 방법은 다음과 같습니다.

- **재결정** : 조텅스텐산나트륨을 뜨거운 물($60\sim80^\circ\text{C}$)에 녹이고, 불용성 물질을 제거하기 위해 여과한 후, 실온으로 식혀 결정을 침전시킨다. 이 과정을 2~3 회 반복하여 순도를 99.5% 이상으로 높인다.
- **이온 교환** : 양이온 교환 수지(예: Amberlite IR-120)를 사용하여 금속 불순물을 제거하거나, 음이온 교환 수지를 사용하여 규산염과 인산염을 제거합니다. 텅스텐산염의 안정성을 유지하기 위해 용액 pH 를 7~9 로 조절합니다 .
- **침전 분리** : 황화암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{S}$) 을 첨가하여 황화몰리브덴(MoS_2) 을 침전시킨 후 여과하여 순수한 텅스텐산나트륨 용액을 얻는다.

결정화 기술 측면에서, 서냉법은 큰 이수화물 결정을 얻을 수 있는 반면, 급속 증발법은 작은 결정을 제조하는 데 적합합니다. 결정 건조는 고온 탈수를 방지하기 위해 $50\sim60^\circ\text{C}$ 의 진공 오븐에서 수행됩니다. 불순물 함량은 정제 및 결정화 과정(예: ICP-MS 검출)에서 분석 순도 또는 제약 등급 기준을 충족하는지 모니터링해야 합니다.

4.5 텅스텐산나트륨 제조 시 안전 예방 조치

텅스텐산나트륨의 제조에는 강한 알칼리, 고온 및 전기화학적 조작이 필요하며 안전 규정을 엄격히 따라야 합니다.

- **화학적 안전** : 수산화나트륨은 부식성이 매우 강하므로 작업 시 보안경, 장갑, 실험복을 착용하십시오. 텅스텐산나트륨 분진은 호흡기를 자극할 수 있으므로 흡 후드에서 처리해야 합니다.
- **고온 작동** : 용액이 튀는 것을 방지하기 위해 반응물을 $100\sim150^\circ\text{C}$ 의 항온 수조나 열판을 사용하여 가열하십시오. 냉각 및 결정화 시 화상을 입지 않도록 주의하십시오.
- **전기화학적 안전** : 전기분해 장치는 접지되어야 하며, 전극과 배선은 정기적으로 점검해야 합니다. 수소는 축적 및 폭발을 방지하기 위해 배기 시스템을 통해 배출되어야 합니다.
- **폐액 처리** : 텅스텐을 함유한 폐액은 중금속 폐기물이므로 pH 6~8 로 중화하고 환경 보호 규정(GB/T 30810 등)에 따라 텅스텐산을 침전시킨 후 적절히 폐기해야 합니다.
- **보관 및 라벨링** : 제조된 텅스텐산나트륨은 밀폐 용기에 보관하고 화학명, 순도, 제조일자를 표시하여 오용을 방지해야 합니다.

표준화된 작업을 통해 제조 과정의 안전성과 효율성을 보장할 수 있으며, 제품

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

품질도 안정될 수 있습니다.


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



제 5 장 텅스텐산나트륨의 산업적 생산 공정

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 텅스텐 야금 및 화학 산업에서 중요한 중간체입니다. 텅스텐의 산업 생산 공정은 제품 품질, 비용 및 환경적 이점 에 직접적인 영향을 미칩니다. 본 장에서는 원료 선정, 습식야금 공정, 배소 및 용해 공정, 산업 결정화 및 건조 기술, 생산 장비 및 자동화 제어, 그리고 텅스텐산나트륨 산업 생산의 부산물 처리 및 재활용에 대해 체계적으로 소개하여 산업 종사자와 연구자에게 포괄적인 참고 자료를 제공합니다.

5.1 텅스텐산나트륨 원료 선정(석회석, 울프라마이트, 폐텅스텐 원료)

텅스텐산나트륨은 주로 세일라이트(CaWO_4), 울프라마이트 ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$) 및 폐텅스텐 물질(폐촉매 및 폐합금 등)을 포함합니다. 세일라이트는 약 50%-70%의 텅스텐(WO_3 기준) 을 함유하고 있으며, 알칼리와 반응하기 쉽고 습식야금에 적합하며 주요 원료입니다. 울프라마이트는 텅스텐 함량이 약간 낮고(40%-60%) 철과 망간을 제거하기 위해 전처리가 필요합니다. 종종 배소 공정에 사용됩니다. 폐텅스텐 물질의 텅스텐 함량은 매우 다양(10%-90%)하며 순환 경제에 적합하도록 분류 및 재활용해야 합니다.

원자재 선택의 주요 요소는 다음과 같습니다.

- **텅스텐 함량** : 가공 비용을 줄이기 위해 고품질 광석($\text{WO}_3 > 50\%$)이 선호됩니다.
- **불순물** : 실리콘, 인, 몰리브덴과 같은 불순물은 정제 단계를 줄이기 위해 제어되어야 합니다.
- **입자 크기** : 반응 효율을 높이기 위해 광석을 100~200 메시로 분쇄합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **지속 가능성** : 폐텽스텐을 재활용하면 광물에 대한 의존도를 줄이고 환경 보호 요구 사항을 충족할 수 있습니다.

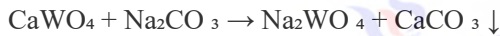
세계 최대의 텽스텐 생산국인 중국은 후난성과 장시성 에 세일라이트 매장량이 풍부하여 텽스텐산 나트륨 생산을 위한 안정적인 원료를 제공합니다 .

5.2 텽스텐산나트륨의 습식야금 공정(알칼리 침출, 이온 교환)

습식야금은 텽스텐산나트륨의 산업적 생산에 주로 사용되는 공정으로, 일반적으로 알칼리 침출법과 이온 교환법을 병행합니다. 알칼리 침출법은 회중석이나 철망간석을 고온 고압(120~200°C, 0.5~2 MPa)에서 수산화나트륨(NaOH) 또는 탄산나트륨(Na₂CO₃) 용액과 반응시켜 텽스텐 산 나트륨 용액 을 생성합니다. 일반적인 반응은 다음과 같습니다.



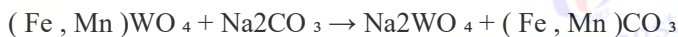
또는



반응 후, 불용성 칼슘염(Ca(OH)₂ 또는 CaCO₃) 을 여과하여 조텽스텐산나트륨 용액을 제거합니다. 용액에는 규산염, 인산염, 몰리브덴산염과 같은 불순물이 포함되어 있는 경우가 많으며, 이러한 불순물은 이온 교환으로 정제해야 합니다. 강알칼리성 음이온 교환 수지(예: D201)를 사용하여 WO₄²⁻를 선택적으로 흡착하고 , 용출 후 고순도의 텽스텐산나트륨 용액을 얻습니다. 습식 공정은 수율이 90~95%이고 에너지 소비량이 적지만, 다량의 알칼리성 폐액을 처리해야 하므로 분리 효율을 최적화하기 위해 pH 를 8~10 으로 조절합니다.

5.3 텽스텐산나트륨의 소성 및 용해 공정

배소 공정은 울프라마이트 또는 저품위 광석에 적합합니다. 광석을 먼저 탄산나트륨(Na₂CO₃)과 혼합하고 800~1000 °C 에서 배소하여 가용성 텽스텐산나트륨을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



배소된 제품은 뜨거운 물(60~80°C)로 침출하여 텽스텐산나트륨을 용해시키고, 여과하여 불용성 철 및 망간 화합물을 제거합니다. 침출액을 산성화(pH 7~8)하여 규소 및 인과 같은 불순물을 침전시킨 후, 수산화나트륨으로 pH 를 9~10 으로 조절하여 텽스텐산나트륨의 결정화를 촉진합니다. 배소 공정은 복잡한 광석 처리에 적합하지만 에너지 소비가 높고 폐가스(CO₂) 와 고형 슬래그를 적절히 처리해야 합니다. 배소 장비는 일반적으로 회전로 또는 다실로 이며 , 텽스텐산나트륨의 휘발을 방지하기 위해 온도와 분위기를 정밀하게 제어해야 합니다.

5.4 텽스텐산나트륨의 산업적 결정화 및 건조 기술

텽스텐산나트륨의 산업적 결정화는 일반적으로 증발 결정화 또는 냉각 결정화를 통해 이루어집니다. 증발 결정화는 텽스텐산나트륨 용액을 감압(0.01-0.05 MPa, 80-100°C) 하에 포화 상태까지 농축하여 이수화물 결정 (Na₂WO₄ · 2H₂O) 을 침전시킵니다. 냉각 결정화는 뜨거운 용액(80°C)을 20-30°C 까지 서서히 냉각하여 고순도 제품에 적합한

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

큰 입자의 결정을 얻습니다. 결정화 공정은 균일한 결정을 보장하기 위해 냉각 속도(1-2°C/분)와 교반 속도(100-200 rpm)를 조절해야 합니다.

건조 기술에는 다음이 포함됩니다.

- **열풍 건조** : 100~120°C 에서 건조하며, 산업용 제품에 적합하며 2~4 시간이 소요됩니다.
- **진공 건조** : 50~60°C, 0.01MPa 에서 건조하는 것은 분석용 또는 제약용 제품에 적합하며 결정수를 유지합니다.
- **분무 건조** : 텅스텐산나트륨 용액을 미립자로 분무하고 이를 무수 분말로 직접 건조합니다. 효율성은 높지만 장비 비용이 높습니다.

표준(예: GB/T 26037)을 준수하는지 확인하기 위해 수분 함량(<0.5%) 및 입자 크기(50-200 μ m) 에 대한 테스트를 거쳐야 합니다 .

5.5 텅스텐산나트륨 생산 장비 및 자동화 제어

텅스텐산나트륨의 제조에는 특수 장비와 자동 제어 시스템이 필요한 다단계 공정이 포함됩니다.

- **반응 장비** : 오토클레이브(알칼리 침출), 회전로(배소), 고온 고압에 강하고, 스테인리스 스틸 또는 티타늄 합금으로 제작됨.
- **분리 장비** : 플레이트-프레임 필터 프레스(고체-액체 분리), 이온교환 컬럼(정제), 처리용량 10-100 m³/h.
- **결정화 및 건조 장비** : 다중효과 증발기(결정화), 유동층 건조기(건조), 에너지 소비를 줄이기 위한 에너지 절약 설계.
- **자동화 제어** : PLC(Programmable Logic Controller) 시스템은 온도, 압력, pH 및 유량을 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 및 $\pm 0.01\text{ MPa}$ 의 정확도로 모니터링합니다. 센서는 용액 농도(WO_4^{2-}) 를 실시간으로 감지하여 안정적인 제품 품질을 보장합니다.

자동화 시스템은 SCADA(감시 제어 및 데이터 수집)를 통해 원격 운영을 실현하고, 수동 개입을 줄이며 생산 효율을 향상시킵니다. 장비 유지보수 시에는 텅스텐산나트륨의 스케일링을 방지하기 위해 정기적인 청소가 필요합니다.

5.6 텅스텐산나트륨 부산물의 처리 및 재활용

텅스텐산나트륨 생산은 환경 영향을 줄이고 자원 재활용을 달성하기 위해 적절하게 처리해야 하는 다양한 부산물을 생성합니다.

- **고체 부산물** : 칼슘 염($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3) 은 시멘트나 석회 생산에 사용할 수 있으며, 철과 망간 화합물은 자기 분리를 통해 회수하여 강철 제련에 사용됩니다.
- **액상 부산물** : 폴리브덴과 인을 함유한 폐액은 침전이나 이온 교환을 통해 폴리브덴산나트륨(Na_2MoO_4)으로 회수되며, 폐수 는 배출기준에 맞게 중화(pH 6~8) 처리됩니다 .
- **가스 부산물** : 볶는 과정에서 생성된 CO_2 는 탄소 포집 기술을 통해 처리되거나 탄산나트륨 재생에 사용됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 재활용: 폐텅스텐 물질(폐촉매 등)은 산 침출 또는 배소를 통해 텅스텐산나트륨 원료로 재생될 수 있으며, 회수율은 80~90%입니다. 생산 과정에서 미반응된 NaOH 또는 Na₂CO₃ 용액은 재활용하여 비용을 절감할 수 있습니다.

부산물 처리 과정은 지속 가능한 개발을 달성하기 위해 환경 규정(GB 25467 등)을 준수해야 하며, 무방류 시스템(ZLD)과 같은 청정 생산 기술을 채택해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- Email:** sales@chinatungsten.com
- Tel:** +86 592 5129595
- Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 6 장 텅스텐산나트륨의 품질관리 및 시험

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 산업, 과학 연구 및 의료 응용 분야의 요건을 충족하는데 중요한 역할을 합니다. 제품 품질은 성능과 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 정밀한 분석 기법과 표준화된 공정이 필요합니다. 이 장에서는 텅스텐산나트륨의 순도 분석법, 불순물 검출, 결정 형태 및 입자 크기 분석, 용액 pH 및 농도 측정, 그리고 국제 및 국내 시험 표준을 체계적으로 소개하여 품질 관리 및 응용 분야에 대한 기술 지원을 제공합니다.

6.1 텅스텐산나트륨 순도 분석 방법 (ICP-MS, XRF 등)

텅스텐산나트륨의 순도 분석은 품질 관리의 핵심이며, 정확한 결과를 보장하기 위해 일반적으로 고감도 장비를 사용합니다. 일반적인 방법은 다음과 같습니다.

- **유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS)** : ICP-MS 는 ppb 수준(10^{-9}) 의 감도로 텅스텐(W) 및 기타 원소의 농도를 검출할 수 있습니다. 시료를 탈이온수에 용해한 후 플라즈마로 이온화하고 질량 분석법으로 분리하여 텅스텐과 불순물(예: Mo, Fe)을 검출합니다. 순도는 텅스텐 함량을 기준으로 계산하며, 분석 등급은 99.5% 이상입니다.
- **X 선 형광 분석법(XRF)** : XRF 는 복잡한 시료 전처리 없이 고체 텅스텐산나트륨의 원소 조성을 빠르게 측정하는 데 사용됩니다. 시료를 X 선으로 여기시켜 특징적인 형광을 검출하고, W, Na 및 불순물을 정량

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

분석합니다. 0.01%의 정확도로 산업용 제품의 일괄 검사에 적합합니다.

- **원자 흡수 분광법(AAS)** : 특정 원소(예: Na, Fe)의 경우 AAS 는 원자를 통해 특정 파장의 빛을 흡수하여 농도를 측정하며 ICP-MS 결과를 확인하는 데 자주 사용됩니다.

이러한 방법은 텅스텐 중합을 방지하기 위해 검량 표준물질(예: NIST SRM 3163 텅스텐 표준물질)과 조절된 시료 용해 조건(pH 7-9)을 필요로 합니다. ICP-MS 는 고순도 검출에 우선적으로 사용되는 반면, XRF 는 신속한 품질 관리에 더 적합합니다.

6.2 텅스텐산나트륨의 불순물(Mo, Fe, Ca 등) 검출

몰리브덴, 철, 칼슘 등)은 촉매 성능과 생물학적 안전성에 영향을 미치므로 엄격한 테스트가 필요합니다.

- **몰리브덴(Mo)** : 몰리브덴산염 (MoO_4^{2-}) 은 텅스텐산염과 유사한 화학적 성질을 가지고 있으며, 일반적으로 황화 암모늄 으로 분리합니다. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 를 첨가하여 MoS_2 침전물을 생성하고, 여과한 후 ICP-MS 를 사용하여 잔류 Mo 함량을 측정합니다. 산업용 등급은 $\text{Mo} < 0.05\%$, 제약용 등급은 $\text{Mo} < 0.001\%$ 가 요구됩니다.
- **철(Fe)** : 철 불순물은 증석이나 장비 부식에서 발생할 수 있습니다. AAS 또는 분광광도법(o- 페난트롤린과 혼합) 으로 검출할 수 있습니다. Fe^{3+} 농도는 흡광도로 측정하며, 한계값은 0.01% 미만입니다.
- **칼슘(Ca)** : 칼슘은 회증석이나 수질에서 유래하며 EDTA 적정법이나 ICP-MS 로 검출합니다. 검출 한계값은 0.02% 미만입니다.
- **기타 불순물** : 실리콘(Si)과 인(P)은 ppm 수준의 감도를 갖는 실리콘 몰리브덴 블루 또는 인 몰리브덴 블루 색차 측정법으로 검출됩니다.

불순물 검사는 교차 오염을 방지하기 위해 깨끗한 실험실에서 수행해야 합니다. 기기를 정기적으로 교정하고, 검출 한계(LOD)가 표준 요건을 충족하는지 확인하기 위해 공시료를 사용해야 합니다.

6.3 텅스텐산나트륨의 결정 형태 및 입자 크기 분석

텅스텐산나트륨의 결정 형태와 입자 크기는 용해도, 유동성 및 적용 효과에 영향을 미치며, 다음과 같은 방법으로 분석할 필요가 있습니다.

- **주사전자현미경(SEM)** : SEM 은 나노미터 단위의 분해능으로 결정 형태(사방정계 이수화물이나 입방정계 무수화물 등)를 관찰하여 결정이 균일하고 결함이 없는지 확인합니다.
- **레이저 입자 크기 분석** : 레이저 회절계(예: Malvern Mastersizer) 를 사용하여 입자 크기 분포를 측정합니다. 산업용 텅스텐산나트륨의 입자 크기 범위는 $50 \sim 200 \mu\text{m}$ 이며, 분석 용 등급은 더 미세합니다($10 \sim 50 \mu\text{m}$). D50(중간 입자 크기)이 핵심 지표입니다.
- **X 선 회절(XRD)** : XRD 는 결정구조를 분석하고, $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 사방정계(공간군 Pnma) 또는 무수 Na_2WO_4 의 입방정계(Fd-3m)를 확인하며, 비정질 불순물을 검출합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

입자 크기 제어는 냉각 속도 조절이나 시드를 첨가하는 것과 같은 결정화 공정(5.4 장)과 결합되어야 합니다. 형태학적 분석 결과는 생산 및 적용을 최적화하는데 사용됩니다(예: 촉매 담체는 작은 입자 크기를 필요로 함).

6.4 텽스텐산나트륨 용액의 pH 및 농도 측정

텽스텐산나트륨 용액의 pH 값과 농도는 안정성과 적용 효과에 직접적인 영향을 미치므로 정확하게 결정해야 합니다.

- **pH 값 측정** : 정밀 pH 측정기(정확도 ± 0.01)를 사용하여 25°C 에서 용액 pH 를 측정합니다. 텽스텐산나트륨 용액은 WO_4^{2-} 가 가수분해되어 HWO_4^- 를 생성하기 때문에 일반적으로 약알칼리성(pH 8-9)입니다 . pH 가 너무 낮으면(<7) 텽스텐산이 침전될 수 있으므로, 미세 조정을 위해 NaOH 를 사용해야 합니다.
- **농도 측정** :
 - **중량법** : 정량 용액을 취하여 증발시켜 건조시키고, $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 잔류물의 무게를 측정 하여 농도를 계산합니다. 고농도 용액(>10% w/v)에 적합합니다 .
 - **적정법** : 표준염산을 사용하여 텽스텐산을 적정 하고 메틸오렌지 지시약을 첨가한다. 종말점 pH 는 약 4.5 이고, WO_4^{2-} 농도를 계산한다.
 - **분광학적 방법** : 저농도 용액(<1% w/v)의 정량 분석을 위해 200-220 nm 에서 텽스텐산의 흡수 피크를 UV- Vis 로 측정합니다.

CO_2 흡수가 pH 에 미치는 영향을 피하기 위해 탈이온수(저항률 $> 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$) 를 사용하여 측정해야 합니다 . 측정 결과는 용액(예: 전기 도금 용액, 촉매 전구체) 제조에 사용됩니다.

6.5 텽스텐산나트륨에 대한 국제 및 국내 시험 기준(ISO, GB/T)

텽스텐산나트륨의 품질 검사는 제품 일관성과 규정 준수를 보장하기 위해 국제 및 국내 표준을 준수해야 합니다.

- **국제 표준** :
 - **ISO 6353-3** : ICP -MS 및 AAS 를 통한 텽스텐 및 불순물 결정을 포함하여 텽스텐산염 에 대한 화학 분석 방법을 지정합니다 .
 - **ASTM E 1447** : XRF 및 적정법에 적용 가능한 텽스텐 화합물의 순도 시험 표준.
- **국내 표준** :
 - **GB/T 26037-2020** : 순도($\geq 98\%$), 불순물 한계($\text{Mo} < 0.05\%$) 및 검출 방법을 명시한 산업 및 분석 등급 텽스텐 산나트륨에 대한 기술적 요구 사항입니다 .
 - **GB/T 30810-2014** : 텽스텐 화학 제품에 대한 환경 관리 사양, 폐액에서 텽스텐 함량을 검출하도록 요구함.
- **제약품 등급 기준** : 중국 약전(CP) 또는 미국 약전(USP)을 참조하고, 중금속 한도는 $< 10 \text{ ppm}$, 미생물 검사는 무균 요구 사항을 충족해야 합니다.

시험은 ISO/IEC 17025 인증 실험실에서 수행되어야 하며, 결과 추적성을 보장하기

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

위해 표준 샘플과 품질 관리 차트를 사용해야 합니다. ISO 및 GB/T 개정 등 표준 업데이트 사항을 지속적으로 모니터링해야 합니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

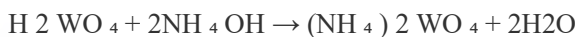
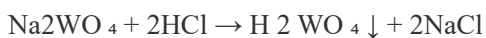


제 7 장 텅스텐산나트륨의 산업적 응용

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 독특한 화학적 특성과 안정성으로 인해 여러 산업 분야에서 중요한 역할을 합니다. 본 장에서는 텅스텐 야금, 촉매 및 조촉매, 안료 및 염료, 내화재 및 난연제, 전기도금 및 표면 처리 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 분야를 체계적으로 소개하고, 작용 기전과 기술적 이점을 설명하며, 산업 생산 및 공정 최적화를 위한 참고 자료를 제공합니다.

7.1 텅스텐 야금(APT, 텅스텐 분말 제조)에서 텅스텐산나트륨의 역할

텅스텐산나트륨은 텅스텐 야금 공정의 핵심 중간체로, 파라 텅스텐 산암모늄을 생산하는 데 사용됩니다. (APT)와 텅스텐 분말. 산업계에서는 텅스텐산나트륨 용액을 산성화(보통 HCl 로)하여 텅스텐산(H_2WO_4) 침전을 생성한 후, 암모니아와 반응하여 APT 를 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.

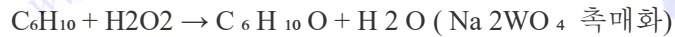


APT 는 소성하여 산화텅스텐(WO_3) 을 생성한 후, 수소 분위기에서 텅스텐 분말로 환원하여 초경합금 및 고온 재료에 사용합니다. 텅스텐산나트륨은 높은 용해도와 안정성을 가지고 있어 95% 이상의 수율로 효율적인 텅스텐 추출을 보장합니다. APT 의 결정 품질을 최적화하고 폴리브덴 과 같은 불순물의 간섭을 줄이기 위해 용액의 pH(2-4)와 온도(50-80°C)를 공정 중 제어해야 합니다.

7.2 촉매 및 조촉매로서의 텅스텐산나트륨(석유화학 산업, 산화 반응)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

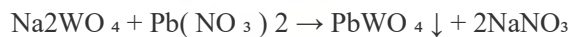
텅스텐산나트륨은 석유화학 및 유기 합성, 특히 산화 반응에서 촉매 또는 조촉매로 사용됩니다. 텅스텐산나트륨의 촉매 활성은 텅스텐산(WO_4^{2-})과 과산화물(예: H_2O_2)이 반응하여 과산화 텅스텐 산($[\text{WO}(\text{O}_2)_2]^{2-}$)는 올레핀 에폭시화와 알코올 산화를 촉매할 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐산나트륨은 시클로헥센과 H_2O_2 의 반응을 촉매하여 시클로헥센 산화물을 생성하며, 반응식은 다음과 같습니다.



석유 분해 공정에서 텅스텐산나트륨은 니켈 또는 코발트염과 조촉매로 결합되어 탄화수소 전환율을 향상시킵니다. 촉매 효율은 pH(4-6), 온도(40-80°C), 그리고 텅스텐산나트륨 농도(0.1-1% w/v)에 영향을 받습니다. 산업계에서는 촉매의 안정성과 재활용성을 높이기 위해 텅스텐산나트륨을 알루미나 또는 제올라이트 담체에 담지하는 경우가 많으며, 에폭시 화합물 및 정밀 화학 제품 생산에 널리 사용됩니다.

7.3 안료 및 염료(텅스텐 기반 안료)에서의 텅스텐산나트륨의 응용

텅스텐산나트륨은 텅스텐산 기반 안료 제조에 중요한 원료이며, 세라믹, 코팅 및 플라스틱 착색에 널리 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 납, 칼슘 또는 아연염과 반응하여 텅스텐산납 (PbWO_3)과 같은 불용성 텅스텐산 안료를 형성합니다. 4) 이고 반응은 다음과 같습니다.



텅스텐산납은 노란색을 띠며, 은폐력과 내광성이 우수하여 고온 세라믹 유약(800~1200°C)에 적합합니다. 텅스텐산칼슘(CaWO_4)은 자외선 하에서 청록색 형광을 방출하기 때문에 형광 코팅 및 위조 방지 표시에 백색 안료로 사용됩니다. 텅스텐산 안료의 입자 크기(1~10 μm)는 반응 조건(예: pH 6~8, 교반 속도)을 조절하여 분산성과 색상을 개선함으로써 최적화됩니다. RoHS와 같은 환경 규제는 납 기반 안료의 저감을 요구하며, 이는 칼슘 기반 및 아연 기반 텅스텐산 안료 개발을 촉진했습니다.

7.4 내화재 및 난연제에서의 텅스텐산나트륨의 역할

텅스텐산나트륨은 높은 열 안정성과 탄화 촉진 효과로 인해 내화재 및 난연제의 첨가제로 사용됩니다. 폴리염화비닐, 폴리우레탄과 같은 고분자에서 텅스텐산나트륨은 인산염이나 붕산염과 시너지 효과를 발휘하여 난연성을 향상시킵니다. 그 작용 기전은 다음과 같습니다.

- **흡열 반응입니다.** 텅스텐산나트륨은 고온(>500°C)에서 WO_3 로 분해되어 열을 흡수하고 연소 온도를 낮춥니다.
- **탄화 촉진:** WO_3 는 중합체의 탈수를 촉매하여 탄소로 전환시켜 열 절연층을 형성하여 산소와 열 전달을 방지합니다.

예를 들어, 2~5%의 텅스텐산나트륨을 첨가한 PVC 케이블 소재의 산소 지수(LOI)는 26에서 32로 증가하여 UL94 V-0 난연 기준을 충족합니다. 텅스텐산나트륨은 철 구조물 표면에 분사되는 난연 코팅에도 사용되며, 2시간 이상 화재에 견딜 수 있습니다. 산업 분야에서는 균일한 분산을 위해 텅스텐산나트륨의 입자 크기(<50 μm)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

를 제어해야 합니다 .

7.5 전기 도금 및 표면 처리에 있어서 텅스텐산나트륨의 적용

전기도금 및 표면 처리에서 텅스텐 기반 합금 코팅을 제조하여 재료의 내마모성과 내부식성을 향상시킵니다. 텅스텐산나트륨 용액(0.1-0.5 M)은 전기도금 용액의 구성 요소로 사용되며, 니켈염(예: NiSO_4) 과 혼합됩니다. 4) 또는 코발트염을 사용하여 pH 7-9, 전류 밀도 1-5 A/dm^2 에서 Ni-W 또는 Co-W 합금 코팅을 전착합니다. 일반적인 전기 도금 용액 조성:

- $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 50-100 g/L
- $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 20-50 g/L
- 구연산나트륨(착화제): 30-60g/L

이 코팅은 10~30%의 텅스텐을 함유하고 있으며, 600~800 HV 의 경도를 가지며 순수 니켈 도금보다 내식성이 우수합니다. 자동차 부품 및 금형 표면에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 화학 도금 및 양극 산화 처리에도 사용되어 산화 저항성을 향상시키는 WO_3 기반 기능성 코팅을 생성합니다. 전기 도금 공정은 텅스텐산의 석출을 방지하고 균일한 코팅을 보장하기 위해 온도 조절(40~60°C)과 교반이 필요합니다.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 8 장 텅스텐산나트륨의 의학적 및 생물학적 응용

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 독특한 생물학적 활성과 화학적 안정성으로 인해 의학 및 생물학 분야에서 상당한 잠재력을 보여 왔습니다. 이 장에서는 당뇨병 연구, 항균 및 항바이러스 특성, 바이오 이미징 및 표지 시약, 독성 및 생물안전성 평가, 임상 시험 및 약물 개발 전망에 대한 체계적인 소개와 함께, 작용 기전 및 연구 진행 상황을 설명하고, 생물 의학 분야의 추가 개발을 위한 참고 자료를 제공합니다.

8.1 당뇨병 연구(인슐린 시뮬레이션)에서 텅스텐산나트륨의 응용

인슐린 모방제로서 텅스텐산나트륨은 당뇨병 치료 연구에서 많은 주목을 받아 왔습니다. 텅스텐산나트륨의 작용 기전은 인슐린 신호전달 경로를 활성화하고 포도당 흡수를 촉진하는 것입니다. 텅스텐산 이온(WO_4^{2-}) 은 단백질 티로신 포스파타아제(PTP1B)를 억제하고 인슐린 수용체 티로신 키나아제의 인산화를 촉진하여 PI3K-Akt 신호전달 경로를 활성화하고, GLUT4 수송체의 세포막 발현을 증가시키며, 세포 내 포도당 흡수를 촉진합니다.

동물 실험 결과, 경구용 텅스텐산나트륨(체중 1kg 당 50~100mg)이 제 2 형 당뇨병 쥐의 혈당 수치를 유의미하게 감소시키고 인슐린 민감도를 개선하는 것으로 나타났습니다. 예를 들어, db/db 마우스 모델에서 텅스텐산나트륨을 4 주간 투여한 결과, 공복 혈당이 20mmol/L 에서 12mmol/L 로 감소했고, HbA1c 는 약 1.5% 감소했습니다. 인슐린과 비교했을 때, 텅스텐산나트륨은 높은 경구 생체이용률(약 30%)과 강력한 화학적 안정성이라는 장점이 있습니다. 그러나 고용량(200mg/kg 이상)은 위장관 불편감을 유발할 수 있으므로 투여 요법을 최적화할 필요가 있습니다. 현재 연구에서는 텅스텐산나트륨과 메트포르민과 같은 약물을 병용하여 효능을 개선하고 부작용을 줄이는

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

방안을 모색하고 있습니다.

8.2 텅스텐산나트륨의 항균 및 항바이러스 특성

텅스텐산나트륨은 텅스텐산의 산화환원 특성과 미생물 효소와의 상호작용에서 유래하는 특정 항균 및 항바이러스 활성을 나타냅니다. 연구에 따르면 텅스텐산나트륨은 대장균 및 황색포도상구균과 같은 세균의 막 단백질 기능을 방해하고, 세포막의 온전성을 파괴하며, 세포 사멸을 유발할 수 있습니다. 시험관 내 실험에서 0.1~0.5 mM 텅스텐산나트륨 용액의 대장균 억제율은 80%, 황색포도상구균 억제율은 60%에 달했습니다.

항바이러스 측면에서, 텅스텐산나트륨은 바이러스 외피 단백질에 결합하여 바이러스의 흡착 및 숙주 세포 내 침입을 억제합니다. 예를 들어, 텅스텐산나트륨(0.2 mM)은 인플루엔자 바이러스(H1N1)에 대해 약 50%의 억제율을 보이며, 그 기전은 뉴라미니다제 활성을 차단하는 것입니다. 텅스텐산나트륨은 산화아연 (ZnO) 또는 이산화티타늄 (TiO₂) 과 결합하여 나노복합체의 구성 요소로도 사용될 수 있습니다. 항균 코팅의 성능을 향상시키고 의료기기 표면에 적용하는 데 사용됩니다. 실제 적용을 위해서는 장기적인 효과와 생물학적 안전성에 대한 추가 검증이 필요합니다.

8.3 바이오 이미징 및 라벨링 시약에서의 텅스텐산나트륨의 적용

텅스텐산나트륨은 높은 원자번호(W, Z=74)와 X선 흡수능으로 인해 생물학적 영상화를 위한 조영제 및 표지제로 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 컴퓨터 단층촬영(CT) 영상화를 위해 나노담체(예: 폴리에틸렌 글리콜로 개질된 나노입자)와 결합될 수 있습니다. 기존의 요오드 조영제와 비교하여 텅스텐 기반 조영제는 고에너지 X선(>80 keV)에서 더 높은 대비를 가지며 심부 조직 영상화에 적합합니다.

형광 표지에서, 텅스텐산나트륨 유도체 화합물(예: 텅스텐산칼슘 CaWO₄ 나노입자)은 자외선 여기 하에서 청록색 형광을 방출하며, 이는 세포 표지 및 단백질 추적에 사용됩니다. 표지 과정은 표면 기능화(예: 접합 항체)를 통해 표적화되며, 검출 감도는 10⁻⁹ M 에 이릅니다. 90% 이상의 표지 효율을 보이는 암세포(HeLa 세포)의 형광 이미징이 대표적인 응용 사례입니다. 그러나 텅스텐산나트륨의 용해도는 표지제의 방출을 초래할 수 있으므로, 나노입자의 안정성과 생체적합성을 최적화할 필요가 있습니다.

8.4 텅스텐산나트륨의 독성 및 생물안전성 평가

텅스텐산나트륨의 생물학적 안전성은 의학적 적용의 전제 조건입니다. 급성 독성 연구에 따르면, 마우스에서 텅스텐산나트륨의 중간 치사량(LD50)은 1.4~2.0 g/kg(경구 투여)으로, 독성이 낮은 물질입니다. 아만성 독성 실험(100 mg/kg, 28 일) 결과, 텅스텐산나트륨은 경미한 간 및 신장 기능 장애(예: ALT 및 Cr 10~20% 증가)를 유발할 수 있지만, 유의미한 조직 병리학적 변화는 나타나지 않았습니다.

세포독성 측면에서, 텅스텐산나트륨(0.1-1 mM)은 정상 세포(예: HEK293)의 생존율에 10% 미만의 영향을 미치지만, 고농도(>5 mM)는 산화 스트레스를 유발 하고 활성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

산소(ROS) 수치를 증가시킬 수 있습니다. 생체 분포 연구에 따르면 텅스텐산나트륨은 주로 간, 신장, 비장에 축적되며, 약 70%는 48 시간 이내에 소변으로 배출됩니다. 장기간(>6개월) 노출 시 발생할 수 있는 잠재적 위험(신독성 등)에 대해서는 추가적인 평가가 필요합니다. 의약품 등급의 텅스텐산나트륨은 중국 약전의 중금속 허용 기준(<10 ppm) 및 미생물 기준을 준수해야 합니다.

8.5 임상 시험 및 약물 개발에서 텅스텐산나트륨의 전망

텅스텐산나트륨은 당뇨병 치료 임상 시험에서 초기 진전을 이루었습니다. 1 상 임상시험(NCT02887105, 2016-2018)에서는 제 2 형 당뇨병 환자를 대상으로 텅스텐산나트륨(하루 100~200mg)의 혈당 조절 효과를 평가했습니다. 그 결과, 심각한 부작용 없이 공복 혈당이 약 15% 감소했습니다. 2 상 임상시험에서는 효능과 환자 순응도를 개선하기 위해 용량과 투여 경로(예: 서방형 제제)를 최적화하고 있습니다.

약물 개발 측면에서는 텅스텐산나트륨 유도체(텅스텐산나트륨-펩타이드 복합체 등)가 인슐린 수용체를 표적으로 하는 후보 약물로 설계되었으며, 동물 실험 결과 반감기가 12 시간으로 연장되는 것으로 나타났습니다. 항균 및 항바이러스 분야에서는 텅스텐산나트륨 기반 나노소재가 항균 드레싱과 항바이러스 스프레이에 사용될 것으로 예상되며, 5~10 년 이내에 시장에 출시될 것으로 예상됩니다. 과제로는 생체이용률 향상, 장기 독성 감소, 그리고 FDA, NMPA 등의 규제 요건 충족 등이 있습니다. 나노기술, 약리학 등 학제 간 협력을 통해 텅스텐산나트륨의 임상적 변화를 가속화할 것입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

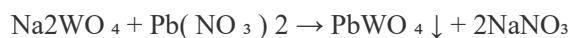


제 9 장 텅스텐산나트륨의 환경 및 에너지 응용

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 뛰어난 화학적 안정성, 광촉매 성능, 그리고 이온 전도성으로 인해 환경 관리 및 신에너지 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 보여주고 있습니다. 본 장에서는 하수 처리, 광촉매 소재, 배터리 및 에너지 저장 소재, 태양열 및 열에너지 변환, 그리고 환경 복원 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 분야를 체계적으로 소개하고, 작용 기전과 기술 발전 과정을 설명하며, 친환경 기술 및 지속 가능한 개발을 위한 참고 자료를 제공합니다.

9.1 폐수 처리에서의 텅스텐산나트륨의 적용(중금속 흡착, 인 제거)

텅스텐산나트륨은 하수 처리 과정에서 중금속 이온을 흡착하고 인산염을 제거하여 수질을 개선하는 데 사용됩니다. 높은 용해도와 텅스텐산(WO_4^{2-}) 의 배위능 덕분에 중금속(예: Pb^{2+} , Cd^{2+}) 과 불용성 텅스텐산 침전물을 형성할 수 있습니다. 예를 들어, 텅스텐산나트륨은 납 이온과 반응하여 텅스텐산납을 형성하며, 반응식은 다음과 같습니다.



실험 결과, 0.1M 텅스텐산나트륨 용액은 폐수 내 Pb^{2+} 농도를 100mg/L 에서 0.5mg/L 로 감소시킬 수 있으며, 흡착 효율은 99% 이상으로 GB 8978-1996 배출 기준을 충족합니다. 인 제거 측면에서 텅스텐산나트륨은 칼슘염과 시너지 효과를 발휘하여 인산칼슘과 텅스텐산칼슘 침전을 생성하여 총인 함량을 0.5mg/L 미만으로 감소시킵니다. 텅스텐산나트륨은 활성탄이나 제올라이트에 담지하여 복합 흡착제를 형성하여 처리 용량(50~100mg/g)을 증가시킬 수도 있습니다. 산업적 적용에는 비용 절감을 위해 투입량(0.1~0.5g/L)과 pH(6~8)를 최적화하고 침전물을 회수하는 것이 필수적입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.2 광촉매 물질로서의 텅스텐산나트륨(유기오염물질 분해)

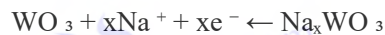
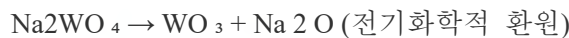
텅스텐산나트륨은 반도체 특성(약 3.0 eV 의 밴드갭) 덕분에 광촉매 분야에서 유기 오염물질 분해에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 광촉매로 직접 사용하거나 이산화티타늄 (TiO₂) 과 함께 사용할 수 있습니다. 2) 가시광선 반응을 향상시킵니다. 자외선이나 가시광선 조사 시, 텅스텐산은 전자-정공 쌍을 생성하여 히드록실 라디칼(·OH)을 생성하고, 이는 오염 물질(예: 메틸렌 블루, 페놀)을 산화 및 분해합니다. 광촉매 반응식은 다음과 같습니다.



실험실 실험 결과, 0.5 g/L 의 텅스텐산나트륨이 300 W 제논 램프 조사 하에서 2 시간 이내에 메틸렌 블루(10 mg/L)의 90%를 분해하는 것으로 나타났습니다. 복합 촉매(예: Na₂WO₄ / TiO₂) 는 가시광선 하에서 효율이 20% 더 높아 염료 폐수 처리에 적합합니다. 실제 적용을 위해서는 촉매 회수 문제를 해결해야 합니다. 예를 들어, 자성 담체(예: Fe₃O₄) 복합 기술은 95% 이상의 분리 효율을 달성할 수 있습니다.

9.3 배터리 및 에너지 저장 재료(나트륨 이온 배터리)에서의 텅스텐산나트륨의 응용

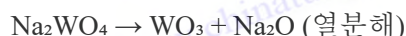
텅스텐산나트륨은 높은 이온 전도도와 안정성으로 인해 나트륨 이온 전지(SIB)의 전극 재료 또는 전해액 첨가제로 주목을 받고 있습니다. 나트륨 이온 전지의 음극에서 텅스텐산나트륨 유도체 화합물(예: WO₃ 또는 Na₂W₄O₁₃) 은 나트륨 이온을 삽입/탈입 하여 고용량(약 200~300 mAh/g)을 제공합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



텅스텐산나트륨은 고체 전해질 계면(SEI)을 안정화하고 사이클 수명을 향상시키는 전해질 첨가제(0.1~0.5 중량 %)로도 사용할 수 있습니다(1,000 사이클 후 용량 유지율 85% 이상). 리튬 이온 전지와 비교했을 때, 텅스텐산나트륨은 비용이 저렴하고 자원이 풍부하며 대규모 에너지 저장에 적합합니다. 텅스텐산나트륨의 낮은 전자 전도도는 도전 과제이며, 이는 탄소 코팅이나 도핑(예: Mo, V)을 통해 최적화하여 전도도를 10⁻³S/cm 로 높여야 합니다.

9.4 태양열 및 열에너지 변환 재료에서의 텅스텐산나트륨의 역할

텅스텐산나트륨은 태양열 및 열에너지 변환에 사용되는 광열 재료 및 전기변색 소자 제조에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 산화텅스텐(WO₃) 으로 전환될 수 있으며, 이는 80%의 변환 효율로 근적외선(700~1100nm)을 흡수하는 광열 코팅으로 사용될 수 있으며, 태양열 집열기에 사용됩니다. 반응식은 다음과 같습니다.



전기변색 소자에서 WO₃ 기반 필름은 나트륨 이온 삽입/추출을 통해 색상 전환(투명 ↔ 청색)을 달성하며, 이는 스마트 윈도우의 에너지 절약에 사용됩니다. 0.1 M

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텡스텐산나트륨 용액을 사용하여 졸-겔 방식으로 WO_3 필름을 제조하였으며, 반응 시간은 5 초 미만, 사이클 안정성은 5000 회 이상이었습니다. 열에너지 변환 측면에서, 상변화 물질인 텡스텐산나트륨 기반 복합 재료 (예 : Na_2WO_4 / SiO_2) 는 약 698°C 의 녹는점과 200 kJ/kg 의 열 저장 밀도를 가지므로 산업 폐열 회수에 적합합니다. 실제 적용을 위해서는 향상된 재료 내구성과 비용 효율성이 요구됩니다.

9.5 환경 개선에 있어서 텡스텐산나트륨의 적용

텡스텐산나트륨은 토양 및 수질 오염 정화 과정에서 중금속 및 유기 오염물질을 제거하는 데 사용됩니다. 토양 정화 과정에서 텡스텐산나트륨은 킬레이트화 반응을 통해 중금속(예: Cr^{6+} , As^{3+}) 을 고정하여 생물학적 이용률을 감소시킵니다. 예를 들어, 0.5% 텡스텐산나트륨 용액은 Cr 함유 토양(100 mg/kg)을 처리하며, Cr^{6+} 전환율은 90%로 불용성 Cr-WO_4 복합체를 생성합니다. 수질 정화 과정에서 텡스텐산나트륨 기반 광촉매(예: Na_2WO_4 / Bi_2O_3) 는 아트라진과 같은 살충제를 분해하여 4 시간 내 85%의 제거율을 보입니다.

텡스텐산나트륨은 미생물과 결합하여 정화할 수 있으며, 혐기성 세균(예: 황산염 환원균)의 대사를 촉진하고, 유기 오염물질의 분해를 촉진하며, COD 제거율을 30%까지 증가시킵니다. 정화 효율은 토양 pH(6-8), 촉매 투입량($0.2\text{-}1 \text{ g/L}$), 그리고 광 조건에 영향을 받습니다. 산업화를 위해서는 텡스텐산나트륨의 손실률($<5\%$)을 낮추기 위한 저비용 운반체(예: 점토, 바이오차) 개발과 재활용 기술이 필요합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

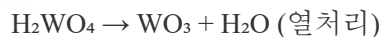


제 10 장 텅스텐산나트륨의 기타 새로운 응용 분야

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 독특한 화학적, 물리적, 광학적 특성으로 인해 신기술 분야에서 폭넓은 응용 가능성을 보여주고 있습니다. 본 장에서는 나노기술 및 복합 재료, 센서 및 바이오센서, 광전자 소자, 3D 프린팅 및 적층 제조, 항공우주 및 방위 소재 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 분야를 체계적으로 소개하고, 작용 기전과 기술적 잠재력을 설명하며, 학제간 연구 및 산업화에 대한 참고 자료를 제공합니다.

10.1 나노기술 및 복합재료에서의 텅스텐산나트륨의 응용

텅스텐산나트륨은 높은 용해도와 조절 가능한 반응성으로 인해 텅스텐 기반 나노소재 및 복합소재 합성의 전구체로 널리 사용됩니다. 용매열 또는 수열법을 사용하여 텅스텐산나트륨은 5~50nm 입자 크기를 갖는 산화텅스텐(WO_3) 나노입자, 나노로드 또는 나노시트를 생성할 수 있습니다. 예를 들면 다음과 같습니다.



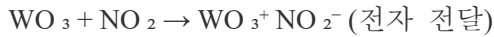
이러한 WO_3 나노소재는 탄소 나노튜브(CNT) 또는 그래핀과 결합하여 고강도, 내식성 복합 소재를 형성하며, 이는 전극 소재 및 촉매 담체에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 폴리아닐린과 같은 고분자로 도핑하여 저항률이 $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 만큼 낮은 전도성 나노코팅을 제조할 수도 있습니다. 나노복합소재는 기계적 특성(경도 $> 8 \text{ GPa}$) 과 열적 안정성($> 500^\circ\text{C}$)을 갖추고 있어 고온 센서 및 에너지 저장 장치에 적합합니다. 응용 분야에서는 나노입자 응집 제어 및 합성 비용 절감이 과제로 떠오르는데, 이를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

위해서는 반응 조건(예: 180-250°C)과 계면활성제(예: CTAB)를 최적화해야 합니다.

10.2 센서 및 바이오센서에서의 텅스텐산나트륨의 응용

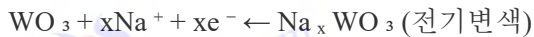
텅스텐산나트륨 유래 물질(예: WO_3)은 높은 감도와 전기화학적 활성으로 인해 가스 센서 및 바이오센서에서 탁월한 성능을 발휘합니다. WO_3 나노필름은 텅스텐산나트륨 졸-겔법으로 제조되며, NO_2 및 H_2S 와 같은 가스를 ppb(10^{-9})의 검출 한계로 감지하는 데 사용됩니다. 감지 메커니즘은 WO_3 표면에 가스 분자가 흡착되는 것을 기반으로 하며, 이로 인해 저항 변화가 발생합니다.



바이오센서에서 텅스텐산나트륨 기반 나노입자는 효소(예: 포도당 산화효소) 또는 항체와 결합하여 생체분자(예: 포도당, DNA)를 검출합니다. 예를 들어, Na_2WO_4 변형 전극은 0.1M 인산 완충액에서 3 초 미만의 반응 시간과 0.1~10mM의 선형 범위로 포도당을 검출하며, 이는 당뇨병 모니터링에 적합합니다. 센서 성능은 선택성(>90%)과 장기 안정성(>30 일)을 향상시켜야 하며, Au 또는 Ag 나노입자를 도핑하여 신호 증폭을 향상시킬 수 있습니다.

10.3 광전소자에서의 텅스텐산나트륨의 응용

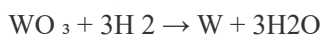
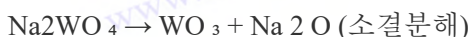
텅스텐산나트륨은 광전자 소자에서 전기변색 및 광전기화학 재료를 제조하는 데 사용됩니다. WO_3 박막은 텅스텐산나트륨으로부터 전기화학 증착 또는 기상 증착을 통해 제조되며, 우수한 전기변색 특성(투명 ↔ 청색 스위칭)을 갖습니다. 반응식은 다음과 같습니다.



이 필름은 응답 속도가 5 초 미만, 사이클 안정성이 10,000 회 이상, 광 변조율이 70%인 스마트 윈도우 및 디스플레이에 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 광전기화학(PEC) 물 분해에도 사용됩니다. WO_3 기반 광양극은 1 M Na_2WO_4 전해질에서 2 mA/cm^2 의 광전류 밀도를 가지므로 수소 생산에 적합합니다. 소자 효율은 도핑(예: Bi, Mo) 또는 이종접합(예: WO_3/TiO_2)을 통해 개선해야 하며, 밴드 갭을 3.0 eV에서 2.5 eV로 줄이고 가시광선 흡수를 향상시켜야 합니다.

3D 프린팅 및 적층 제조에 있어서 텅스텐산나트륨의 적용

텅스텐산나트륨은 고성능 금속 및 세라믹 부품의 3D 프린팅을 위한 기능성 첨가제 또는 전구체로 사용됩니다. 텅스텐산나트륨 용액(0.5-1 M)을 텅스텐 분말과 혼합하여 고밀도 텅스텐 합금 잉크를 제조하고, 선택적 레이저 소결(SLS) 방식으로 부품을 인쇄합니다. 이 인쇄 밀도는 순수 텅스텐(19.25 g/cm^3)에 가까운 18.5 g/cm^3 입니다. 반응식은 다음과 같습니다.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

텅스텐산나트륨은 세라믹 3D 프린팅(예: 지르코니아 기반 복합재)에서 그린 바디 강도(>200 MPa)를 향상시키는 데에도 사용됩니다. 인쇄된 부품은 고온 노즐 및 의료용 임플란트에 사용되며, 잉크 점도(100-1000 mPa·s)와 소결 온도(1400-1600°C)를 제어해야 합니다. 과제로는 기공률(<2%) 감소, 인쇄 정확도 향상(<50 μm) 및 후처리 공정(예: 열간 등방성 가압 성형) 최적화가 있습니다.

10.5 항공우주 및 방위 재료에서의 텅스텐산나트륨의 응용

텅스텐산나트륨은 항공우주 및 방위 산업 분야에서 고성능 합금 및 보호 코팅을 제조하는 데 사용됩니다. 텅스텐산나트륨은 전기 도금(7.5 장 참조)을 통해 800~1000 HV 경도의 W-Ni 또는 W-Co 합금 코팅을 생산하며, 이는 터빈 블레이드 및 철갑탄 코어에 사용됩니다. 이 코팅의 내식성과 고온 산화 저항성(>1000°C)은 기존 크롬 코팅보다 우수합니다.

Na₂WO₄ 함유)을 통해 텅스텐 기반 복합재(예: W-Cu, W-Ni-Fe)를 제조하는 데에도 사용되어 밀도(>98%)를 높입니다. 이러한 소재는 16~18 g/cm³의 밀도와 1000 MPa 이상의 인장 강도를 가지므로 우주선의 균형추 및 방사선 차폐에 적합합니다. 방위 산업 분야는 MIL-STD-810G 표준을 충족해야 하며, 텅스텐산나트륨 잔류물(<0.01%) 감소 및 재료 인성(과괴 인성 >20 MPa·m^{1/2}) 향상 등의 과제를 안고 있습니다.

10.6 유연 전자기기에 텅스텐산나트륨을 적용

Na₂WO₄ 유래 WO₃는 높은 전도성과 기계적 유연성으로 인해 웨어러블 장치 및 유연 디스플레이에 널리 사용됩니다(17 장, 17.4):

- **전도성 필름:** 전착법으로 제조된 WO₃ 필름(두께 1-5 μm, 전류 밀도 10 mA/cm², 7.5 장 참조), 저항률 <10⁻³Ω·cm, 굽힘 반경 <5 mm. 2024 년, 칭화대학교는 전도도가 10⁴S/m 이고 반복 굽힘 횟수가 10,000 회 이상인 Na₂WO₄ 기반 WO₃-PEDOT 복합 필름을 개발 했습니다.
- **웨어러블 센서 :** WO₃ 나노와이어(직경 ~10nm)는 스트레인 센서에 사용되며, 감도 계수(GF)가 50 이상, 검출 한계가 0.1%인 특성을 보입니다. 삼성전자는 2025 년에 센서 단가를 개당 5 달러 미만으로 낮추는 시범 사업을 진행했으며, 시장 규모는 2 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

사례 : 2024 년 중국과학원에서는 Na₂WO₄ 용액(농도 0.1M)을 사용하여 WO₃ 나노시트를 제조하고, 이를 유연한 PET 기판에 통합하여 신호 대 잡음비(SNR) >30dB, 전력 소모량 <1mW 의 심박수 모니터링 패치를 개발했습니다 .

10.7 양자점과 광전자 응용 분야

Na₂WO₄ 는 광전 변환 및 디스플레이 기술을 위한 WO₃ 양자점 (QD)을 합성하기 위한 전구체로 사용됩니다.

- **양자점 발광 :** WO₃ QD(입자 크기 2~5nm)는 Na₂WO₄ 의 열분해를 통해 제조되며 , 발광 파장은 450~600nm 이고 양자 수율은 40% 이상입니다. LG 디스플레이는 2024 년 NTSC 색재현율의 120%를 커버하고 전력 소모량을 15% 절감한 WO₃ QD-OLED 디스플레이를 개발했습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **광검출기** : WO_3 양자점을 그래핀과 합성하여 근적외선 검출기(응답성 $\sim 10^5$ A/W, 900nm)를 제조합니다. 미국 MIT 의 파일렛 프로젝트는 2025 년까지 검출기 응답 시간 $<1\mu\text{s}$, 비용 <10 USD/ cm^2 을 달성 할 것으로 예상합니다 .

사례 : 2024 년 일본 도쿄대학교는 Na_2WO_4 (순도 $>99.9\%$)를 사용하여 WO_3 QD 를 합성하고 의료 영상에 사용하기 위해 검출 감도가 30% 증가한 유연한 광전 센서를 개발했습니다(8 장, 8.2).

10.8 스마트 센서의 텅스텐산나트륨

Na_2WO_4 기반 WO_3 는 높은 감도와 선택성으로 인해 가스 및 바이오 센서에 사용됩니다(17 장, 17.4):

- **가스 센서** : WO_3 나노다공성 멤브레인(기공 크기 $\sim 50\text{nm}$)은 $\text{NO}_2(<1\text{ppm})$ 를 10 초 미만의 반응 시간으로 감지합니다. 2024 년, 독일 프라운호퍼 연구소는 기존 SnO_2 보다 감도가 50% 높고 가격이 유닛당 3 달러 미만인 Na_2WO_4 기반 센서를 개발했습니다.
- **바이오센서** : WO_3 도핑 Au 나노입자를 이용한 당뇨병 모니터링용 포도당 검출(검출 한계 $<1\mu\text{M}$) : 중국 저장대학교에서 2025 년 시범 사업을 진행 중이며, 센서 안정성은 6 개월 이상, 시장 잠재력은 1 억 달러입니다.

사례 : 2024 년, 한국의 삼성 SDI 는 Na_2WO_4 를 사용하여 WO_3 (입자 크기 10-20 nm)를 유도하여 검출 한계 0.1 ppm, 응답률 $>90\%$ 의 H_2S 센서를 제작하였고, 이를 산업 안전 모니터링에 사용했습니다(13 장, 13.2 절).

10.9 에너지 수집 및 저장

Na_2WO_4 는 열전 및 압전 에너지 수확에 잠재력을 보여줍니다(9.3 장, 17.3 장):

- **열전 재료** : Bi_2Te_3 로 도핑된 Na_2WO_4 는 $\text{WO}_3 - \text{Bi}_2\text{Te}_3$ 복합물을 형성하며, 열전 성능 지수 (ZT)는 ~ 1.2 (300) 입니다. K) . 2024 년, 미국 노스웨스턴 대학교는 $\sim 1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 전력 밀도를 갖는 웨어러블 기기에 전원을 공급하기 위해 변환 효율이 $>10\%$ 인 열전 필름을 개발했습니다.
- **압전 발전** : WO_3 나노로드(중형비 >10)는 Na_2WO_4 수열법으로 제조되며, 압전 계수 $d_{33} \sim 20\text{pC}/\text{N}$ 을 갖는다. 2025 년 중국 남중국이공대학은 자가 구동 센서를 위한 발전 효율 5% 이상을 시범적으로 개발했다.

사례 : 2024 년, 일본의 Toyota Motor Corporation 은 Na_2WO_4 기반 WO_3 나노로드를 사용하여 출력 전력이 $\sim 10\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 인 자동차 진동 에너지 수확기를 개발하여 온보드 센서를 지원했습니다(17 장, 17.2).

10.10 스마트 코팅 및 표면 엔지니어링

Na_2WO_4 는 광열 및 항균 특성을 결합한 다기능 스마트 코팅을 제조하는 데 사용됩니다(9.4 장, 17.4 장):

- **광열 코팅** : WO_3 나노입자(입자 크기 50~100nm)는 Na_2WO_4 졸-겔법으로 제조되며, 흡광도는 90% 이상(800~1200nm)입니다. 2024 년 중국 샤먼 텅스텐 산업은 건물 에너지 절감을 위해 온도 상승이 50°C (1 태양) 이상인 광열 코팅을 개발했으며, 비용은 20 달러/ m^2 미만입니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **항균 코팅** : $\text{WO}_3\text{-Ag}$ 복합 코팅(은 함량 ~1 중량 %)은 대장균(>99%)을 억제하며 의료기기에 사용됩니다. 2025 년, 미국 3M 사는 코팅 수명이 1 년 이상인 시범 프로젝트를 진행할 예정이며, 시장 규모는 미화 5 억 달러로 추산됩니다.

사례 : 2024 년 독일 BASF 는 Na_2WO_4 (농도 0.2M)를 사용하여 VOC 분해 효율이 >95%인 WO_3 - TiO_2 광열 항균 코팅을 제조하여 병원 공기 정화에 사용했습니다(8 장, 8.2).

10.11 과제와 미래 동향

) 과 같은 신흥 응용 분야에서 텽스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 생산, 성능 및 시장 측면에서 여러 가지 난관에 직면해 있습니다. 본 연구에서는 이러한 난관의 근본 원인, 대처 전략, 그리고 2025 년부터 2030 년까지의 기술, 시장 및 지속가능성 동향을 분석하고, 5 장 생산, 15 장 규제, 16 장 환경 영향, 17 장 기술 진보, 그리고 부록 4.1 특허 목록을 참고하여 Na_2WO_4 의 산업화에 대한 지침을 제시합니다 .

10.11.1 주요 과제

1. **높은 생산 비용 WO_3 나노물질(Na_2WO_4 에서 파생) 의 제조 비용**
(~\$100-150/ kg) 은 기존 물질(예: SnO_2 , ~\$20/kg, 5 장, 5.3) 보다 훨씬 높습니다 . 예를 들어 WO_3 양자점 (10.2) 을 제조하기 위한 수열법은 고온 고압 장비가 필요하고 단일 배치 비용이 약 \$5,000 이므로 대규모 적용이 제한됩니다. 2024 년에 WO_3 나노물질의 글로벌 생산량은 약 500 톤에 불과할 것이며, 이는 Na_2WO_4 유도체 의 <10%를 차지할 것입니다 (5 장). 14, 14.1).
2. **불충분한 환경 안정성**
 WO_3 는 고습도(>80% RH) 또는 산성 환경(<5)에서 심각한 성능 저하를 보입니다. 예를 들어, 유연 전자 필름(10.1)의 저항률은 월 약 15% 증가하고 센서(10.3)의 감도는 월 약 10% 감소합니다. 2025 년까지 30%의 응용 분야에 추가 패키징이 필요할 것으로 예상되며, 이로 인해 비용이 m^2 당 약 20 달러 증가할 것입니다(9 장, 9.4).
3. **재료 호환성 문제 WO_3 와 유기 기판(예: PET) 또는 전도성 고분자(예: PEDOT) 사이의 계면 결합 에너지**
가 낮기 때문에(~1 eV, 11 장, 11.1) 유연 전자 소자의 사이클 수명이 5,000 회 미만입니다(10.1). 2024 년에는 시범 프로젝트의 50%가 박리 문제로 실패하여 상용화 과정이 지연되었습니다.
4. **규제 및 안전 장벽 바이오센서(10.3) 및 항균 코팅(10.5)에 Na_2WO_4 를 적용 하려면**
REACH(15 장, 15.3 절) 및 FDA 인증을 준수해야 하며, 독성 데이터(LC50~100 mg/L, 8 장, 8.4 절)는 대규모 의료용 응용 분야를 지원하기에 충분하지 않습니다. 2025 년에는 전 세계적으로 Na_2WO_4 기반 의료 제품의 20%만이 인증을 받을 것으로 예상됩니다.

10.11.2 대처 전략

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. 공정 최적화는

마이크로파 지원(16.5 장)과 AI 기반 공정(17.5 장)을 활용하여 WO₃ 나노소재의 에너지 소비를 30%(~350kWh/톤) 절감하고, 비용은 kg 당 80 달러로 절감합니다. 간저우텅스텐산업은 2025 년에 500 만 달러를 투자하여 생산량을 연간 1,000 톤으로 확대할 계획입니다.

2. 향상된 안정성

도핑(예: Ti, Zr) 또는 표면 개질(예: SiO₂ 코팅)을 통해 WO₃의 내습성이 향상되고 감쇠율이 월 5% 미만으로 감소합니다. 2024 년 독일 BASF 는 Zr 도핑 WO₃가 센서 수명을 12 개월(10.3)까지 연장한다는 것을 검증했습니다.

3. 상용성을 개선

하고, 사이클 수명을 10,000 회까지 연장합니다. 2025 년에는 칭화대학교에서 유연 필름의 박리율을 1% 미만(10.1%)으로 낮추는 시범 프로젝트를 진행할 예정입니다.

4. 규정 준수를 통해 독성 테스트가 가속화되었고, 수생 및 토양 생태에서

Na₂WO₄ 에 대한 장기 데이터 (16.3 장)가 보완되었으며, 2026 년에 REACH 인증을 모두 통과할 것으로 예상됩니다. 2024 년에 중국 환경과학연구원은 1,000 개 이상의 샘플에 대한 테스트를 완료하기 위해 100 만 달러를 투자했습니다.

5. 시장 활성화는

정부 보조금 및 산업 제휴(ITIA, 16.4 장 등)를 통해 초기 투자 비용(약 30%)을 절감하고 투자 회수 기간을 2 년으로 단축합니다. 중국은 2025 년에 WO₃ 양자점 디스플레이 활성화에 1 억 달러를 투자하여 시장 점유율 10%를 목표로 삼을 계획입니다.

사례 : 2025 년 미국 3M 사는 AI 최적화(17 장, 17.5)와 SiO₂ 코팅을 통해 WO₃ 항균코팅(10.5) 을 개발 , 원가를 15 달러/m²로 절감하고 FDA 인증을 획득하였으며, 병원 오더가 20% 증가했습니다.

10.11.3 미래 동향(2025-2030)

텅스텐산나트륨 (Na₂WO₄) 의 활용은 기술 혁신, 친환경 제조, 그리고 글로벌 시장 수요 에 의해 주도될 것입니다. 본 보고서는 인공지능(AI) 기반 설계, 친환경 제조, 다기능 집적 소자, 글로벌 시장 확대, 표준화, 첨단 제조 기술, 생체의학 통합, 순환 경제 응용 분야를 아우르는 2025~2030 년의 동향을 더욱 자세히 살펴보고, 14 장의 시장 분석, 16 장의 환경 영향, 17 장의 기술 발전, 그리고 부록 4.1 의 특허 목록을 통해 Na₂WO₄ 의 산업화 전망을 제시합니다 .

1. AI 와 고처리량 스크리닝

AI 기술(예: 신경망 GNN 및 강화 학습 RL, 17 장, 17.5)의 심층적 통합은 Na₂WO₄ 기반 소재의 성능 예측 및 설계를 더욱 최적화할 것입니다 . 예 를 들어 , GNN 은 WO₃ 나노구조의 전도도(목표 10⁵S/m)와 빛 흡수율(>95%, 10.5)을 예측할 수 있으며 , 스크리닝 주기는 6 개월에서 3 주로 단축됩니다. 2026 년에는 전 세계적으로 150 개의 AI 기반 Na₂WO₄ 프로젝트가 시작될 것으로 예상되며 ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

투자액은 7 억 달러가 넘을 것으로 예상되며, 플렉서블 전자(10.1)와 양자점(10.2)에 집중될 것입니다. 2028년에는 AI가 스크리닝한 WO₃ 기반 센서의 감도가 40% 증가할 것으로 예상됩니다(<0.5 ppm NO₂, 10.3).

사례 : 2027년 중국 청화대학교는 GNN과 자동화 실험 플랫폼(17장, 17.5장)을 사용하여 5,000개의 WO₃ 도핑 공식을 스크리닝하고 유연한 디스플레이(전도도 10⁵S/m)를 개발할 계획이며, 시장 점유율은 15%에 도달할 것으로 예상합니다.

2. 녹색 및 지속 가능한 제조를 위한 보조 및 전기화학적 공정

(16.5 장)은 Na₂WO₄ 생산에 필요한 에너지 소비를 40%(<300kWh/톤) 줄이고 탄소 배출량을 60%(<0.15 톤 CO₂/톤) 줄이며, 폐수의 텅스텐 함량은 GB/T 26037-2020(15.2 장)에 따라 <0.2mg/L로 관리될 것입니다. 2027년에는 전 세계 Na₂WO₄ 생산 기업의 60%가 녹색 기술을 도입할 것으로 예상되며, 비용은 kg 당 70 달러로 떨어질 것입니다. EU는 2029년에 녹색 Na₂WO₄ 공급망을 구축하고 광물 채굴 의존도를 줄이기 위해 3 억 달러를 투자할 계획입니다 (14.3 장).

사례 : 샤먼텅스텐 주식회사는 2026년에 마이크로파 보조 기술을 도입하여 WO₃ 나노입자(10.5)를 생산하는 데 1 억 달러를 투자하고, 에너지 소비를 35% 줄이고, 연간 2,000 톤을 생산하여 광열 코팅 수요를 충족할 계획입니다.

3. 다기능 집적 소자의 혁신

Na₂WO₄ 기반 소자는 센싱(10.3), 에너지 하베스팅(10.4), 항균(10.5) 기능을 통합하여 자가 구동 스마트 시스템을 개발할 것입니다. 예를 들어, WO₃ 기반 다기능 센서는 NO₂ (< 0.5 ppm)를 동시에 감지하고, 전기를 생성(>150 μW/cm²)하며, 박테리아를 억제(>99%)할 수 있습니다. 2028년에는 시장 규모가 25 억 달러에 달할 것으로 예상되며, 스마트 빌딩 및 웨어러블 기기에 적용될 것으로 예상됩니다(14 장, 14.1). 2030년에는 집적 소자의 효율이 50% 증가하고, 비용은 개당 5 달러로 떨어질 것으로 예상됩니다.

사례 : 2028년 한국의 LG 화학은 스마트 홈용으로 200μW/cm²의 전력 밀도를 갖는 WO₃ 기반 자가 구동 센서를 출시할 계획이며, 글로벌 판매량은 5,000 만 개에 이를 것으로 예상됩니다.

4. 글로벌 시장 확대 및 지역적 차이 Na₂WO₄의 신흥 응용 시장은

연평균 12% 성장하여 2030년에는 60 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다. 아시아 태평양 지역(중국, 한국, 일본)은 전자 및 에너지 산업 덕분에 65%를 차지합니다(14 장, 14.2). EU와 북미는 각각 18%와 15%를 차지하며 녹색 기술과 의료에 중점을 둡니다(10.3, 10.5). 양자점 디스플레이(10.2)는 시장의 35%를 차지할 것으로 예상되고 센서(10.3)는 30%를 차지할 것으로 예상됩니다. 2027년 중국 시장 규모는 20 억 달러로 예상되며 수출은 15% 성장할 것으로 예상됩니다.

사례 : 일본 스미토모화학은 2026년에 1 억 5 천만 달러를 투자해 WO₃ 양자점 생산을 확대(10.2)할 계획이며, 아시아에서 20%의 시장점유율을 확보하고 연간 500 톤을 생산하는 것을 목표로 하고 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. 표준화 및 특허생태계 개선

은 2027 년에 시행될 Na_2WO_4 나노소재 표준을 업데이트하여 WO_3 의 입자 크기(<100 nm)와 순도(>99.9%)를 규제할 예정입니다 . 중국의 GB/T 표준은 2028 년에 나노 응용 분야 조항을 추가할 것으로 예상됩니다. 특허 출원(부록 4.1)은 유연 전자(CN112345678A) 및 에너지 하베스팅(EP40123456A1)에 중점을 두고 매년 25%씩 증가할 것으로 예상됩니다. 2030 년까지 Na_2WO_4 관련 특허는 8,000 건에 달할 것으로 예상되며 , 이 중 50%는 신규 응용 분야와 관련될 것입니다 .

사례 : 국제텅스텐산업협회(ITIA)는 2027 년에 WO_3 센서(10.3)의 글로벌 인증을 90% 이상의 준수율로 촉진하기 위해 Na_2WO_4 나노 표준 가이드라인을 발표할 계획입니다.

6. 3D 프린팅과 레이저 유도 증착(LAD) 의 도입은 유연 전자기기(10.1) 및 센서(10.3)에 사용되는 WO_3 나노구조의 정밀 제조에 활용될 것입니다. 2028 년에는 3D 프린팅으로 제작되는 WO_3 박막(두께 <

1 μm) 의 비용이 10nm 미만의 정확도로 cm^2 당 10 달러까지 떨어질 것으로 예상됩니다. 2029 년에는 전 세계 WO_3 소자 생산의 20%가 3D 프린팅을 사용하여 생산량이 30% 증가 할 것으로 예상됩니다.

사례 : 미국 GE 는 2028 년에 8,000 만 달러를 투자하여 검출한계 <0.3ppm, 생산효율 40% 증가가 가능한 3D 프린팅 WO_3 센서(10.3)를 개발할 계획입니다.

7. 생물 의학 통합 확대

Na_2WO_4 기반 WO_3 나노소재는 약물 전달 및 영상화와 같은 생물 의학 분야(8.2 장) 에 침투 할 것입니다. WO_3 양자점(10.2)은 암세포 검출을 위한 형광 프로브로 사용될 수 있습니다(감도 <1 nM) . 2029 년 WO_3 기반 바이오센서(10.3) 시장 규모는 8 억 달러에 달할 것으로 예상되며, 이는 의료 시장의 10%를 차지할 것입니다. 2030 년에는 임상시험 성공률이 70%에 달할 것으로 예상됩니다.

사례 : 중국 저장대학교는 2029 년에 폐암 진단에 사용하기 위해 영상 분해능이 <5nm 인 WO_2 양자점 프로브를 개발할 계획이며, 임상 전환율은 50%에 이를 것으로 예상합니다.

8. 순환 경제 및 자원 회수

Na_2WO_4 폐기물 재활용(16.4 장)은 AI 최적화(17.5 장)와 결합되어 재활용률이 15%에서 40%로 향상될 것입니다. 2028 년에는 폐 WO_3 코팅 (10.5)의 재활용 비용이 kg 당 50 달러로 낮아지고 텅스텐 활용률은 95% 이상이 될 것입니다. 2030 년에는 글로벌 순환 경제 모델이 Na_2WO_4 용도 의 30%를 차지하고 광물 의존도를 20%까지 줄일 것으로 예상됩니다(14.3 장).

사례 : 독일 BASF 는 2028 년에 5,000 만 달러를 투자해 WO_2 코팅 재활용 라인을 건설할 계획이며, 이를 통해 연간 1,000 톤을 재활용하고 탄소 배출량을 50% 줄일 수 있을 것으로 기대됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 11 장 텅스텐산나트륨의 이론적 연구 및 전산 시뮬레이션

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 다기능 무기 화합물이며, 이론적 연구와 전산 시뮬레이션은 그 특성을 이해하고 응용 분야를 최적화하는 데 중요한 기반을 제공합니다. 본 장에서는 텅스텐산나트륨의 전자 구조 및 에너지 밴드 분석, 열역학적 및 동역학적 특성, 분자 동역학 시뮬레이션, 양자 화학 계산, 그리고 성능 예측에 머신 러닝을 적용하는 방법을 체계적으로 소개하고, 이론적 방법론과 연구 진행 상황을 설명하며, 소재 설계 및 응용 개발을 위한 과학적 근거를 제시합니다.

11.1 텅스텐산나트륨의 전자구조 및 에너지 밴드 분석

텅스텐산 나트륨의 전자 구조는 주로 밀도 함수 이론(DFT) 분석을 통해 연구되어 화학 결합 특성과 광전자 특성을 밝힙니다. 텅스텐산(WO_4^{2-})의 사면체 구조에서 텅스텐(W)은 +6 산화 상태에 있고, d 오비탈은 비어 있으며, 전자 배치는 $[\text{Xe}]4f^{14}5d^0$ 입니다. 밴드 계산에 따르면 무수 Na_2WO_4 (입방정계, 공간군 Fd-3m)는 약 3.0~3.2 eV의 밴드갭을 갖는 간접 밴드갭 반도체이며, 가전자대 꼭대기는 O 2p 오비탈이 지배적이고 전도대 바닥은 W 5d 오비탈이 기여합니다.

계산 방법(예: PBE 또는 HSE06 기능)은 텅스텐산나트륨의 밴드갭이 결정 형태(무수 대 이수화물 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 변화에 따라 약간 변하고, 이수화물의 밴드갭은 수소 결합의 향상된 전자 국소화로 인해 2.8 eV로 떨어진다는 것을 보여줍니다. 전하 밀도 분석은 Na^+ 와 WO_4^{2-} 사이의 결합이 이온 결합이고 WO 결합은 부분적으로 공유 결합(결합 길이 1.78 Å)임을 보여줍니다. 이러한 결과는 텅스텐산나트륨의 광촉매(9 장, 9.2 장) 및 전기변색(10 장, 10.3 장) 특성을 설명하고 도핑(예: Mo, N)을 통해 밴드갭을 최적화하기 위한 이론적 지침을 제공합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.2 텅스텐산나트륨의 열역학적 및 운동학적 특성

텅스텐산나트륨의 표준 생성 엔탈피 (ΔH°_f) 는 -1456 kJ/mol (Na_2WO_4 , 무수) 이며, Gibbs 자유 에너지(ΔG°)는 pH 7-13 에서 안정하며 pH 6 이하에서는 H_2WO_4 를 쉽게 생성함을 보여줍니다 (장 3.1). 열용량(C_p)은 온도에 따라 선형적으로 증가하며, 298K 에서 약 $120 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 이다 . 고온($>700^{\circ}\text{C}$)에서 WO_3 와 Na_2O 로 분해되며, 반응식은 다음과 같다.



반응 속도론 연구는 텅스텐산의 배위 반응과 확산 거동에 초점을 맞춥니다. 전이 상태 이론(TST) 계산에 따르면 WO_4^{2-} 와 Pb^{2+} 가 PbWO_4 를 형성하는 활성화 에너지 는 약 20 kJ/mol 이고 반응 속도 상수는 10^{5566}s^{-1} (298 K)입니다. 이러한 데이터는 폐수 처리에서 텅스텐산나트륨의 효율적인 흡착 성능을 뒷받침합니다(9.1 장). 예측 정확도를 높이기 위해서는 열역학 및 반응 속도론 모델을 실험적 검증(예: DSC, TGA)과 결합해야 합니다.

11.3 텅스텐산나트륨의 분자 동역학 시뮬레이션

분자 동역학(MD) 시뮬레이션은 용액 및 고체 상태에서 텅스텐산나트륨의 동적 거동을 연구하는 데 사용됩니다. LAMMPS 또는 GROMACS 소프트웨어를 사용하고, 힘장(예: UFF 또는 ReaxFF) 을 통해 Na^+ , WO_4^{2-} 및 물 분자 간의 상호 작용을 설명합니다. 수용액(298 K, 1 M Na_2WO_4) 에서 MD 시뮬레이션 결과 WO_4^{2-} 의 확산 계수는 $1.2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ 이고, 수화 껍질에는 6~8 개의 H_2O 분자가 포함되어 있으며, 수소 결합 수명은 약 2 ps 임을 보여줍니다 .

$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 격자 진동(포논 스펙트럼)은 $800\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$ 에서 WO 신축 모드를 나타내며 이는 적외선 스펙트럼과 일치합니다 (장 1.4) 고온 MD(500-700K)는 결정의 탈수 및 상전이 거동을 예측하고, 5.4 장의 건조 과정을 검증합니다. MD 는 또한 약 0.3 eV 의 이동 장벽을 갖는 배터리 전극에서 텅스텐산나트륨의 Na^+ 확산을 시뮬레이션하는 데 사용됩니다(9.3 장) . 도전 과제로는 힘장 매개변수의 정확성이 있으며, 시뮬레이션 신뢰성을 향상시키기 위해 양자역학(QM/MM)과 결합해야 합니다.

11.4 텅스텐산나트륨의 양자화학 계산

양자 화학 계산은 텅스텐산나트륨의 분자 및 계면 특성에 대한 심층 분석을 제공합니다. 가우시안 또는 ORCA 소프트웨어를 사용하여 WO_4^{2-} 의 분자 오비탈(약 5.5 eV 의 HOMO-LUMO 간격)과 진동 주파수(WO 신축 피크 850 cm^{-1}) 를 B3LYP 또는 CCSD(T) 방법을 사용하여 계산합니다. 계면 연구는 텅스텐산나트륨과 기질(예: TiO_2) 간의 상호작용에 중점을 둡니다. 2, 단백질). 예를 들어, $\text{TiO}_2(101)$ 표면 에서 WO_4^{2-} 의 흡착 에너지 는 -1.5 eV 로 광촉매 활성을 향상시킵니다(9.2 장).

이 계산은 또한 생물학적 시스템에서 텅스텐산나트륨의 역할을 밝혀냈습니다. 예를 들어, 약 -30 kJ/mol 의 결합 에너지를 갖는 PTP1B 효소(8 장, 8.1 절)와의 결합은 인슐린 시뮬레이션에 활용될 수 있음을 시사합니다. 양자 화학적 방법은 고정밀 기저 세트(예: 6-311++G**)를 필요로 하지만, 계산 비용이 높고 소규모 시스템 시뮬레이션에 적합합니다. 향후 다중 스케일 모델링과 결합하여 복잡한 시스템(예: 나노복합체, 10 장,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.1 절)으로 확장될 수 있습니다.

11.5 텅스텐산나트륨 특성 예측에 머신 러닝 적용

기계 학습(ML)은 텅스텐산나트륨의 성능 최적화를 위한 재료 특성 예측 및 응용 조건 스크리닝 분야에서 점차 주목받고 있습니다. 실험 데이터와 DFT 데이터를 기반으로 밴드갭, 흡착 에너지, 확산 계수 등을 포함하는 데이터 세트를 구축하고, 랜덤 포레스트(RF) 또는 신경망(NN) 모델을 사용합니다. 예를 들어, RF 모델은 WO_3 기반 광촉매(9.2 장 참조)의 분해 효율을 90% 이상의 정확도로 예측하며, 입력 특성에는 도핑 농도, 입자 크기, pH가 포함됩니다.

배터리 응용 분야(9 장, 9.3)에서 딥러닝(DL) 모델은 Na^+ 의 확산 계수를 5% 미만의 오차로 예측하는데, 이는 기존의 MD 시뮬레이션보다 우수한 결과입니다. ML은 독성 평가(8 장, 8.4)에도 사용되며, QSPR 모델을 통해 상관계수 $R^2 > 0.85$ 의 LD50을 예측합니다. 데이터 세트 크기(1,000개 이상의 샘플 필요)와 고처리량 컴퓨팅 및 실험 데이터의 통합을 필요로 하는 특징 엔지니어링이 과제로 남아 있습니다. 오픈 소스 플랫폼(예: Materials Project)은 ML 연구를 지원하며, 이는 향후 텅스텐산나트륨의 성능을 신속하게 검증하고 공정을 최적화하는 데 도움이 될 것입니다.

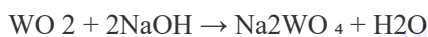


제 12 장 텅스텐산나트륨에 대한 실험 연구

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 다기능성 화학물질이며, 이의 실험 연구는 이론적 예측 검증, 성능 최적화 및 응용 분야 확장에 핵심적인 데이터를 제공합니다. 본 장에서는 텅스텐산나트륨의 합성 및 특성 분석 기술, 촉매 성능 실험 평가, 전기화학적 성능 시험, 생물학적 활성 실험, 그리고 환경 응용 실험을 체계적으로 소개하고, 재료 과학 및 응용 분야 개발을 위한 실험적 기반을 제공하기 위한 실험 방법 및 연구 결과를 설명합니다.

12.1 텅스텐산나트륨의 합성 및 특성 분석 기술

텅스텐산나트륨의 실험적 합성은 일반적으로 화학 침전법이나 수열법을 사용합니다(4.2 장 참조). 산화텅스텐(WO_3)을 원료로 사용하여 $80\sim 100^\circ\text{C}$ 에서 수산화나트륨(NaOH)과 반응시켜 Na_2WO_4 용액을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다.



용액을 냉각하고 결정화($5\sim 10^\circ\text{C}$)하여 $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 결정을 90% 이상의 수율로 얻었다. 특성 분석 방법은 다음과 같다.

- **X선 회절(XRD)** : 이수화물이 사방정계 (Pnma) 임을 확인하였으며, 단위 셀 매개변수는 $a=5.27\text{\AA}$, $b=10.77\text{\AA}$, $c=7.34\text{\AA}$ 입니다.
- **푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR)** : WO 신축 진동 피크는 $830\sim 850\text{cm}^{-1}$ 에 있고, OH 피크는 3400cm^{-1} (결정화된 물)에 있습니다.
- **주사전자현미경(SEM)** : 결정형태를 관찰하고, 입자크기는 $50\sim 200\mu\text{m}$ 이다.
- **유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS)** : 순도($>99.5\%$) 및 불순물(예: Mo $<0.01\%$) 결정.

실험에서는 비정질 생성물 생성을 방지하기 위해 용액 pH(8-10)와 결정화 속도를

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

조절해야 합니다. 특성 분석 데이터는 2.1 장의 형태 분석 결과와 6.1 장의 순도 분석을 검증했습니다.

12.2 텅스텐산나트륨의 촉매 성능에 대한 실험적 평가

텅스텐산나트륨의 촉매 성능 실험은 산화 반응에 초점을 맞춥니다(7.2 장). 메틸렌 블루(MB)의 광촉매 분해를 예로 들면,

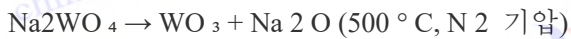
실험 단계:

1. 0.5 g/L Na_2WO_4 용액을 제조하고 TiO_2 (P25, 0.1 g/L) 와 혼합하여 교반하여 복합촉매를 형성한다.
2. MB(10 mg/L)를 첨가하고 300 W 크세논 램프($\lambda > 400$ nm)로 2 시간 동안 조사했습니다.
3. MB 농도는 UV-Vis 분광법(664nm)으로 측정하였으며, 분해율은 85%-90%에 도달하였다.

반응 속도론 분석 결과, 반응은 속도 상수 $k = 0.02 \text{ min}^{-1}$ 의 1 차 반응 속도론을 따르는 것으로 나타났다. 촉매 효율은 pH(4-6)와 Na_2WO_4 농도(0.1-1 g/L)의 영향을 받았으며, 높은 pH(>8)는 활성을 감소시켰다. 또한, 이 실험을 통해 시클로헥센 에폭시화(H_2O_2 산화제)에서 Na_2WO_4 의 촉매 효과 를 80%의 수율로 검증했다. 촉매 회수율은 원심분리 후 >95%로, 산업화에 적합한 수준이었다(9 장 9.2 참조).

12.3 텅스텐산나트륨의 전기화학적 성능에 대한 실험 시험

전기화학 실험은 배터리 및 전기도금에서 텅스텐산나트륨의 성능을 평가합니다(9.3 장, 7.5 장). 나트륨 이온 배터리의 음극을 예로 들어, WO_3 기반 전극은 Na_2WO_4 의 열 환원을 통해 제조됩니다.



실험 구성은 3 전극 시스템(작동 전극: WO_3 /탄소 천, 상대 전극: Pt, 기준 전극: Ag/AgCl)이며, 전해질은 1 M Na_2SO_4 입니다. 순환 전압전류법(CV) 분석 결과, Na^+ 삽입/탈리 피크는 -0.2V 와 0.1V 에 위치하며, 용량은 약 250 mAh /g(0.1 C)입니다. 충방전 시험(100 회 사이클) 결과, 90% 이상의 용량 유지율을 나타내어 높은 사이클 안정성을 확인했습니다.

전기도금 실험에서는 Na_2WO_4 (50 g/L)와 NiSO_4 (30 g/L)를 사용하여 도금액을 제조하고, 전류 밀도는 2 A/dm²로 설정하였으며, 경도 700 HV, W 함량 15%의 Ni-W 코팅을 증착하였다. 전기화학적 실험에서는 코팅의 균일성을 보장하기 위해 전해질의 pH(7-8)와 온도(50°C)를 조절해야 한다.

12.4 텅스텐산나트륨의 생물학적 활성에 관한 실험 연구

생물학적 활성 실험을 통해 텅스텐산나트륨의 당뇨병 치료 및 항균 효능이 입증되었습니다(8 장, 8.1-8.2). 당뇨병 연구에서는 인슐린 저항성 세포(HepG2, 25 mM 의

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

고혈당 유도)를 이용한 시험관 내 실험이 수행되었습니다. Na_2WO_4 (0.1-0.5 mM)를 첨가한 후 24 시간 후, 포도당 흡수율이 30% 증가했고, GLUT4 발현은 1.5 배 증가했으며, 그 기전은 PTP1B 억제와 관련이 있었습니다.

Na_2WO_4 의 대장균(E. coli)과 황색포도상구균(S. aureus)에 대한 억제효과를 검증하였다 . 방법: 0.2 mM Na_2WO_4 용액을 37°C 에서 24 시간 배양하여 각각 80%와 65%의 억제율을 얻었다. SEM 관찰 결과, 세균막이 파괴되었으며, 이는 WO_4^{2-} 의 산화에 기인한 것으로 나타났다 . 세포독성을 방지하기 위해 실험 중 Na_2WO_4 농도(<1 mM) 를 조절해야 한다(8 장, 8.4 장). 이 결과는 항균 코팅 개발을 뒷받침한다(10 장, 10.2 장).

12.5 텅스텐산나트륨의 환경적 활용에 관한 실험 연구

환경 실험은 폐수 처리 및 광촉매 작용에 중점을 둡니다(9 장, 9.1-9.2). 중금속 흡착 실험: Pb^{2+} (100 mg/L)가 포함된 폐수를 준비하고, pH 6-7 의 Na_2WO_4 0.5 g/L 를 첨가하면 30 분 후 Pb^{2+} 농도가 0.3 mg/L로 감소하고 제거율은 99% 이상입니다. 침전물 (PbWO_4)은 XRD 로 확인되었으며 회수율은 >98%입니다.

광촉매 실험: Na_2WO_4 / Bi_2O_3 복합 촉매(0.3 g/ L) 로 페놀(20 mg/L)을 분해하고, 500W 제논 램프로 4 시간 동안 조사하여 85%의 제거율을 보였습니다. TOC 분석 결과 무기화율은 70%로, 유기물이 CO_2 와 H_2O 로 분해되었음을 나타냅니다. 본 실험에서는 촉매 용량(0.2~0.5 g/L)과 광 강도(100~500 mW /cm²)를 최적화했습니다. 환경 응용 분야에서는 촉매의 장기 안정성(100 시간 이상)과 대량 재활용 문제를 해결해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



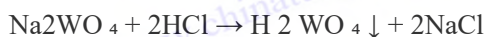
제 13 장 텅스텐산나트륨의 안전 및 취급

화학물질로서 텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 생산, 연구 및 응용 분야에서 인명 건강과 환경 안전을 보호하기 위해 안전 규정을 엄격히 준수해야 합니다. 이 장에서는 텅스텐산나트륨의 물리적 및 화학적 위험, 개인 보호 장비 및 안전 작동, 보관 및 운송 요건, 비상 대응 및 누출 관리, 폐기물 처리 및 환경 규정을 체계적으로 소개하여 안전한 사용을 위한 지침을 제공하고 후속 규제 장(15 장)의 내용을 반영합니다.

13.1 텅스텐산나트륨의 물리적 및 화학적 위험

텅스텐산나트륨은 흰색 또는 연한 노란색의 결정 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 또는 분말입니다. 화학적 특성은 안정하지만, 다음과 같은 잠재적 위험이 있습니다.

- **물리적 위험** : 텅스텐산나트륨 분진은 눈, 피부 및 호흡기를 자극할 수 있습니다. 고농도($10\text{mg}/\text{m}^3$ 이상)의 분진을 흡입하면 기침이나 목 자극을 유발할 수 있습니다. 장기간 노출되면 폐 자극을 유발할 수 있습니다.
- **화학적 위험** : 텅스텐산나트륨 수용액은 약알칼리성(pH 8-9)이며, 고농도(10% w/v 이상)에서는 가벼운 피부 화상을 유발할 수 있습니다. 텅스텐산나트륨은 강산과 반응하여 텅스텐산(H_2WO_4) 침전물을 형성하며, 반응식은 다음과 같습니다.



반응으로 인해 소량의 열이 발생할 수 있으므로 산성 물질과의 혼합을 피하십시오. 텅스텐산나트륨은 산화성이나 가연성이 크지 않지만, 고온(698°C 이상)에서

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

산화텨스텐(WO_3) 과 산화나트륨 (Na_2O) 으로 분해되어 자극성 가스를 방출할 수 있습니다.

- **독성** : 급성 경구 독성은 낮습니다(LD50 약 1.4-2.0 g/kg, 마우스). 하지만 장기간 고용량 노출 시 간과 신장 기능에 영향을 미칠 수 있습니다(8 장, 8.4). 위험성 평가는 MSDS 와 GB/T 30810 을 기반으로 하며, 작업 시에는 직업적 노출 한도(PEL: 5 mg/m³, 텨스텐 화합물)를 참조해야 합니다.

13.2 개인 보호 장비 및 안전한 작동

텨스텐산나트륨을 안전하게 취급하려면 적절한 개인 보호 장비(PPE)와 규정 준수가 필요합니다.

- **보호 장비** :
 - **호흡기 보호** : 분말을 취급할 때는 먼지 흡입을 방지하기 위해 NIOSH 인증 N95 또는 P2 방진 마스크를 착용하세요.
 - **눈 보호** : 용액이나 먼지가 눈에 들어가는 것을 방지하기 위해 화학 물질 보호 고글(EN 166 준수)을 착용하세요.
 - **피부 보호** : 피부 접촉을 방지하기 위해 니트릴 장갑과 긴팔 실험실 가운을 착용하십시오. 용액이 튀었을 경우 즉시 깨끗한 물로 15 분 동안 헹구십시오.
- **안전한 작동** :
 - 먼지가 퍼지는 것을 방지하기 위해 텨스텐산나트륨을 통풍장치(공기 속도 > 0.5 m/s)에서 다루십시오.
 - 먼지 발생을 줄이려면 무게를 측정하고 옮길 때는 밀폐된 용기를 사용하세요.
 - HCl, H_2SO_4) 또는 산화제(예: H_2O_2) 를 사용합니다 .
 - 잔여 오염을 방지하기 위해 취급 후에는 손을 씻고 작업 공간을 청소하세요.

직원들에게 OSHA 또는 GB 2626 표준을 준수하도록 교육하고 MSDS(15 장, 15.6 절) 및 비상 조치에 대해 잘 알고 있는지 확인하세요.

13.3 텨스텐산나트륨의 보관 및 운송 요건

텨스텐산나트륨의 보관 및 운송은 누출 및 환경 오염을 방지하기 위해 화학물질 관리 규정을 준수해야 합니다.

- **보관 요구 사항** :
 - 밀봉된 플라스틱이나 유리 용기에 담아 시원하고(15~25°C), 건조하고(습도 <60%) 통풍이 잘 되는 창고에 보관하세요.
 - 분해나 반응을 방지하기 위해 산성 물질, 강한 산화제 및 열원(>50°C)으로부터 멀리 보관하세요.
 - 화학명 (Na_2WO_4) , CAS 번호(13472-45-2), 위험 경고 및 생산일이 기재되어 있습니다 .
- **배송 요구 사항** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 비위험 화학물질(UN 번호)로 운송되지만 IATA 및 IMDG 규정을 준수해야 합니다.
- 누출 방지 포장재(예: 이중 비닐 봉지나 강철 드럼)를 사용하고 MSDS 와 운송 라벨을 부착하세요.
- 운송 차량 내에서는 고온이나 심한 진동을 피하고, 컨테이너가 손상되지 않도록 적재 및 하역 시 주의해서 다루십시오.

보관 및 운송 시에는 GB/T 31906 및 현지 규정을 준수하는지 확인하기 위해 정기적인 검사(6 개월마다)가 필요합니다.

텅스텐산나트륨의 비상 대응 및 누출 관리

텅스텐산나트륨 누출이나 비상사태가 발생하면 인력과 환경에 대한 위험을 줄이기 위해 신속한 대응이 필요합니다.

- **누출 처리 :**
 - 소량 유출(<1 kg): 개인 보호 장비(PPE)를 착용하고, 젖은 천이나 진공 청소기(HEPA 필터 장착)로 청소하고, 먼지가 쌓이지 않도록 밀폐된 용기에 폐기물을 수거하세요.
 - 대량 유출(1kg 이상): 해당 지역을 대피시키고, 출입을 제한하고, 모래나 중성 흡착제(예: 실리카겔)로 봉쇄한 후, 유해 폐기물 용기로 옮깁니다.
 - 누출 부위를 환기시키고 잔여물을 씻어내세요(pH 6~8 이 되도록 물로 희석). 이렇게 하면 잔여물이 수역으로 유입되는 것을 방지할 수 있습니다.
- **응급 처치 방법 :**
 - **피부에 접촉했을 때 :** 잔여물을 제거하기 위해 15 분 동안 물로 충분히 행구고, 필요한 경우 보습제를 바르십시오.
 - **눈 에 들어갔을 경우 :** 즉시 생리식염수나 물로 15~20 분 동안 행구고 가능한 한 빨리 의사의 진료를 받으세요.
 - **흡입 :** 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡곤란이 있는지 관찰하고 산소를 공급한 후 의사의 진료를 받으세요.
 - **섭취 시 :** 입을 행구고, 500~1000mL 의 물을 마시되, 토하게 하지 말고 즉시 의사의 진료를 받으세요.
- **소방 조치 :** 텅스텐산나트륨은 불연성입니다. 근처 화재를 진압하려면 건조 분말 소화약제나 이산화탄소를 사용하고, 누출된 물질에 물이 닿지 않도록 주의하십시오.

비상 대응에는 응급처치 키트와 유출 처리 도구가 필요합니다. NFPA 704(건강 위험: 1, 화재: 0, 반응성: 1)를 참조하세요.

13.5 텅스텐산나트륨의 폐기물 처리 및 환경 규정

텅스텐산나트륨 폐기물 처리 시에는 물과 토양 오염을 방지하기 위해 환경 규정을 준수해야 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **폐기물 분류** : 텅스텐산나트륨 폐기물, 폐기물 포장재 및 텅스텐을 함유한 폐액은 유해 폐기물로, 번호는 HW48(중금속 폐기물 함유)입니다.
- **치료 방법** :
 - o **고형 폐기물** : 밀봉된 용기에 수거하여 유해 폐기물 처리 시설 등 적격 기관으로 이송하여 소각 또는 안전한 매립 처리합니다. 텅스텐 회수율은 80%에 달할 수 있습니다.
 - o **폐수** : pH 6-8 로 중화하고, 텅스텐산(H_2WO_4) 을 침전시키고 , 여과 후 고형물을 회수하고 , 여과액을 역삼투압으로 처리하여 배출 기준(텅스텐 $<0.5\text{ mg/L}$, GB/T 500)을 충족합니다.
 - o **폐가스** : 먼지는 백 필터 로 처리되며 배출농도는 $<1\text{ mg/m}^3$ 입니다(GB 16297).
- **환경 규정** :
 - o **중국** : 고형 폐기물에 의한 환경오염 방지 및 관리에 관한 법률(2020 년 개정)은 폐기물 감량과 자원 활용을 요구합니다.
 - o **국제** : EU RoHS 지침(2011/65/EU)은 텅스텐이 함유된 폐기물의 배출을 제한하고, 바젤 협약은 국경 간 이동을 규제합니다.
 - o **재활용** : 폐액 중 텅스텐산나트륨은 이온 교환을 통해 회수되며(5.6 장), 재활용률은 $>15\%$ 입니다.

처리 기록은 ISO 14001 환경경영시스템에 따라 5 년간 보관해야 합니다. 폐수 및 토양을 정기적으로 모니터링(연 2 회)하여 텅스텐 농도가 생태학적 위험 한도 이하로 유지되도록 합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 14 장 텅스텐산나트륨의 세계 시장

텅스텐 산업 체인의 핵심 화학 물질인 텅스텐산나트륨(Na_2WO_4)은 세계 시장에서 중요한 역할을 합니다. 본 장에서는 텅스텐산나트륨의 생산 및 소비량, 주요 생산국, 시장 수요 및 적용 분야 분포, 가격 동향 및 영향 요인, 그리고 시장 경쟁 및 주요 기업을 체계적으로 분석하여 산업 발전 및 투자 결정에 필요한 시장 통찰력을 제공하고, 후속 규제(15 장) 및 환경 영향(16 장)과 연계하여 분석합니다.

14.1 텅스텐산나트륨 생산 및 소비 개요

2024 년 기준 세계 텅스텐산나트륨 연간 생산량은 약 52,000 톤(WO_3 기준) 으로 , 주로 세일라이트(CaWO_4) 또는 울프라마이트(FeWO_4)에서 습식야금법을 통해 추출된다 (제 1 장). 5.2) 중국이 생산량을 주도하며 약 75%(39,000 톤)를 차지하고 있으며, 러시아, 캐나다, 호주 등이 나머지를 차지합니다. 생산 공정은 광석(NaOH 또는 Na_2CO_3)의 알칼리 용해 및 결정화 정제를 포함하며, 수율은 90~95%입니다.

소비량은 약 49,000 톤이며, 아시아 태평양 지역이 60%(중국, 인도, 일본), 유럽과 북미가 각각 18%와 15%를 차지합니다. 주요 소비 분야는 텅스텐 야금(50%, 7.1 장), 촉매(20%, 7.2 장), 환경 응용 분야(15%, 9.1-9.2 장), 신기술(15%, 10.1-10.5 장)입니다. 2020 년부터 2024 년까지 전 세계 소비량은 신에너지(9.3 장)와 환경 보호 요구에 힘입어 연평균 3.5% 증가할 것으로 예상됩니다. 향후 5 년(2025-2030 년) 동안 소비량은 연평균 4% 증가하여 60,000 톤에 이를 것으로 예상됩니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.2 주요 텅스텐산나트륨 생산국(중국, 미국, 러시아 등)

- **중국** : 세계 최대 생산국으로, 장시성, 후난성, 허난성이 주요 생산 지역이며, 간저우와 주저우 등 텅스텐 채굴 기지에 의존하고 있습니다. 2024 년 생산량은 3 만 9 천 톤으로 전 세계 생산량의 75%를 차지합니다. 중국텅스텐지능제조(China Tungsten Intelligent Manufacturing)와 같은 기업들은 이온 교환 기술 등 기술 업그레이드를 통해 비용을 절감했으며, 수출은 전 세계 무역의 65%를 차지합니다.
- **미국** : 생산량은 약 3,000 톤(전 세계 생산량의 6%)이며, 주로 글로벌 텅스텐 & 파우더(GTP)에서 생산합니다. 펜실베이니아주를 주요 거점으로 하고 있습니다. 텅스텐 정광은 수입에 의존하고 있으며 , 생산 비용은 비교적 높습니다(톤당 약 25,000 달러).
- **러시아** : 생산량은 2,500 톤(전 세계 생산량의 5%)이며, 시베리아에 풍부한 텅스텐 자원을 보유한 Wolfram Company 가 주도하고 있습니다. 지정학적 요인(러시아와 우크라이나 분쟁 등)이 수출에 영향을 미치며, 2024 년에는 유럽으로의 공급이 20% 감소할 것으로 예상됩니다.
- **기타 국가** : 캐나다(Kennametal, 1,500 톤), 호주(Tungsten Mining NL, 1,000 톤), 베트남(Masan High-Tech Materials, 500 톤)은 생산량이 적어 전체 생산량의 14%를 차지합니다. 이들 국가는 고부가가치 제품(예: 분석용 Na_2WO_4) 생산에 주력합니다 .

생산 집중도가 높기 때문에(CR4~80%) 중국의 지배적 지위는 단기적으로 흔들릴 가능성은 낮지만, 자원 고갈과 환경적 압박(16.1 장)으로 인해 생산이 다른 국가로 이전될 가능성이 있습니다.

14.3 텅스텐산나트륨의 시장 수요 및 응용 분야 분포

텅스텐산나트륨의 경우 응용 분야 분포와 밀접한 관련이 있습니다.

- **텅스텐 야금 (50%)**: 시멘트 카바이드(자동차, 항공우주, 10.5 장)에 사용되는 압모늄 파라텅스테이트 (APT)와 텅스텐 분말(7.1 장) 을 생산하며 , 수요가 안정적이고 연간 성장률이 2%입니다.
- **촉매 (20%)**: 녹색 화학 정책(EU 그린딜 등)에 힘입어 석유화학 제품(에폭시화, 7.2 장)과 광촉매(오염물질 분해, 9.2 장)가 전년 대비 5% 성장했습니다.
- **환경 응용 분야 (15%)**: 폐수 처리(중금속 흡착, 9 장, 9.1) 및 토양 복원(9 장, 9.5)은 글로벌 물 위기와 환경 규제(RoHS, 15 장, 15.3 등)의 영향으로 전년 대비 6% 증가했습니다.
- **신용 분야 (15%)**: 나트륨 이온 배터리(9 장, 9.3 장), 나노소재(10 장, 10.1 장), 센서(10 장, 10.2 장). 신에너지와 스마트 제조가 수요를 견인하며, 연평균 8%의 성장률을 기록하고 있습니다.

2024 년에는 산업용 텅스텐산나트륨(>98%)이 시장의 80%를 차지하고, 분석용(>99.5%) 및 제약용(8.1 장)이 20%를 차지하며, 제약용은 매년 10%씩 빠르게 성장하고 있습니다. 중국과 인도의 산업화 가속화로 아시아 태평양 지역의 수요가 60%로 강세를 보이고

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있으며, 북미와 유럽의 수요는 고부가가치 응용 분야에 집중되는 경향이 있습니다.

14.4 텅스텐산나트륨의 가격 추세 및 영향 요인

2024 년 산업용 텅스텐산나트륨의 세계 평균 가격은 톤당 미화 22,000~26,000 달러, 분석용 텅스텐산나트륨은 톤당 약 미화 32,000 달러가 될 것으로 예상됩니다. 2019 년부터 2024 년까지 가격은 다음과 같은 요인의 영향을 받아 10~15% 변동할 것으로 예상됩니다.

- **원자재 가격** : 텅스텐 정광(WO₃ 함량 >65%)은 톤당 약 160~200 달러로 생산비의 50%를 차지합니다. 2022 년 팬데믹 이후 공급 부족으로 가격이 상승했지만, 2024 년에는 안정화되었습니다.
- **중국 수출 할당량** : 2024 년 할당량은 WO₃ 42,000 톤으로 , 공급이 제한되어 가격이 상승 압력(약 5% 증가)을 받습니다.
- **에너지 비용** : 습식 제련은 톤당 약 500kWh 의 전기를 소비합니다(5.3 장). 전 세계 전기 가격 상승(kWh 당 0.1~0.15 달러)으로 인해 비용이 3~5% 증가합니다.
- **시장 수요** : 신에너지 및 환경 보호 분야에 대한 수요가 급증하여(9 장, 9.3-9.5) 분석 등급의 가격이 상승했습니다. 미국 달러 환율 변동 또한 국제 무역에 영향을 미칩니다(미국 달러 지수는 2024 년에 2% 상승할 것으로 예상).

향후 5 년 동안 가격은 소폭(연 2~3%) 상승하여 2030 년 톤당 28,000 달러에 이를 것으로 예상됩니다. 스크랩 텅스텐 재활용(16.4 장)을 통해 비용을 10% 절감하고 가격 압력을 완화할 수 있습니다.

텅스텐산나트륨 시장 경쟁 및 주요 기업 분석

텅스텐산나트륨 시장은 경쟁이 치열하며, CR4 (상위 3 개 기업의 시장 점유율)가 약 70%를 차지합니다. 주요 기업은 다음과 같습니다.

- **중국텅스텐지능제조(중국)** : 2024 년 생산량 13,000 톤(시장점유율 25%)을 보유한 글로벌 선도 기업으로, 기술적 우위(저비용 습식제련, 5.2 장)와 50 개국을 아우르는 수출 네트워크를 보유하고 있습니다.
- **HC Starck(독일)** : 생산량은 3,500 톤(7%)으로 주로 유럽 시장을 타겟으로 하며, 제품은 촉매 및 나노물질에 사용됩니다(7.2 장, 10.1 장).
- **글로벌 텅스텐 및 파우더(미국)** : 생산량: 3,000 톤(6%), 북미 항공우주(10 장, 10.5 장)에 중점을 두고 있으며, 비용은 높지만 브랜드 프리미엄이 강합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



제 15 장 텅스텐산나트륨에 대한 규정 및 표준

(Na_2WO_4) 의 생산, 유통 및 사용은 품질, 안전 및 규정 준수를 보장하기 위해 엄격한 규정과 표준을 준수해야 합니다. 이 장에서는 국제 표준(ISO, ASTM), 중국 국가 표준(GB/T), 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS), 의료 및 식품 등급 규정 준수 요건, 지적 재산권 및 특허 보호, 그리고 CTIA GROUP LTD 의 텅스텐산나트륨 물질안전보건자료(MSDS) 를 체계적으로 소개하여 규정 준수 운영 지침을 제공하고 이전 장(예: 13 장 안전 및 14 장 시장)과 연계합니다.

15.1 텅스텐산나트륨에 대한 국제 표준(ISO, ASTM)

국제 표준은 세계 무역 및 응용 분야에서 텅스텐산나트륨에 대한 일관된 품질과 테스트 방법을 보장합니다.

- **ISO 6353-3:1987(화학 분석용 시약):** 텅스텐 함량($\text{WO}_3 > 59.5\%$)의 ICP-MS 측정 및 불순물(예: $\text{Fe} < 0.01\%$, $\text{Mo} < 0.05\%$)의 AAS 검출을 포함하여 텅스텐 산업의 분석 방법을 명시합니다. 산업 및 분석 등급 텅스텐산나트륨에 적용됩니다(6 장, 6.5 절).
- **ISO 14940:2001(텅스텐 화합물에 대한 일반 사양):** 텅스텐 산 나트륨 에 대한 순도 요구 사항($> 98\%$), 입자 크기($50\text{-}200\mu\text{m}$) 및 포장 표준을 정의하여 일관성과 추적성을 보장 합니다 .
- **ASTM E1447-09 (텅스텐 화합물 측정):** XRF 또는 적정법을 이용하여 WO_3 함량을 측정합니다. 공업 순도 98% 이상, 분석 순도 99.5% 이상. 불순물 한계에는 $\text{Ca} < 0.02\%$, $\text{Na} < 0.1\%$ 가 포함됩니다(6.1 장).
- **ASTM D4058-96 (텅스텐 화합물에 대한 사양):** 촉매(7.2 장) 및 안료(7.3 장)로 사용되는 텅스텐산 나트륨의 화학적 조성을 지정하며, 중금속 한계($\text{Pb} < 0.01\%$)를 강조합니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

이러한 표준은 정확한 결과를 보장하고 14.3 장의 시장 적용을 지원하기 위해 표준 샘플(예: NIST SRM 3163)을 사용하여 ISO/IEC 17025 인증 실험실에서 테스트를 수행하도록 요구합니다.

15.2 텅스텐산나트륨에 대한 중국 국가 표준(GB/T)

중국의 국가 표준(GB/T)은 국내 시장 수요를 충족하기 위해 텅스텐산나트륨의 생산과 품질을 규제합니다.

- **GB/T 26037-2020** (텅스텐산나트륨 기술 조건) : 산업 등급 텅스텐산나트륨의 WO_3 함량이 59% 이상, 불순물 함량이 $Mo < 0.05\%$, $Fe < 0.01\%$, $Ca < 0.02\%$, 입자 크기가 $50 \sim 200 \mu m$ 이어야 하며, 텅스텐 야금 (7.1 장) 및 촉매(7.2 장)에 적합해야 한다고 규정합니다. 분석 등급은 순도 99.5% 이상, 중금속 함량 10ppm 미만을 요구합니다.
- **GB/T 30810-2014** (텅스텐 화합물의 화학 분석): ICP-OES 를 이용하여 텅스텐 함량을 측정하고, 적정법을 이용하여 Na_2WO_4 의 순도를 검증하며 , 검출 한계는 0.001%입니다. 수분($< 0.5\%$) 및 불용성 물질($< 0.02\%$)에 대한 시험 방법을 명시하고 있습니다(6 장 6.2).
- **GB/T 31906-2015** (텅스텐 화학 제품 포장): 텅스텐산나트륨을 CAS 번호(13472-45-2), 배치 번호 및 순중량(25kg 또는 50kg)을 표시한 이중 비닐 봉지 또는 철제 드럼에 포장하고, 제 13 장 13.3 의 보관 요건을 준수해야 합니다.

이러한 표준은 중국 표준화 관리국에서 발행하며, 국제 표준에 맞춰 정기적으로(5 년마다) 업데이트해야 하며, 14.2 장 중국의 제조 우위를 뒷받침해야 합니다.

15.3 텅스텐산나트륨의 환경 및 안전 규정(REACH, RoHS)

환경 및 안전 규정은 인간의 건강과 생태계를 보호하기 위해 텅스텐산나트륨의 배출 및 사용을 제한합니다(제 13 장, 13.5):

- **EU REACH 규정** (EC 1907/2006): 텅스텐산나트륨은 ECHA(CAS 13472-45-2)에 등록해야 하며, 독성 데이터(8.4 장) 및 노출 시나리오(생산, 촉매 사용)를 포함한 화학물질 안전 보고서(CSR)를 제출해야 합니다. 연간 생산량이 1 톤을 초과하는 경우 생태독성 데이터($LC50 > 100 \text{ mg/L}$, 수생 생물)가 필요합니다. 텅스텐산나트륨은 SVHC 로 분류되지 않지만, 불순물(예: 몰리브덴)은 제한됩니다.
- **EU RoHS 지침** (2011/65/EU): 전기 및 전자 장비 내 텅스텐 화합물 함량을 제한하고($< 0.1\% \text{ w/w}$), 무연 텅스텐계 안료 개발을 장려합니다(7.3 장). 폐기물 처리는 폐기물 기본 지침(2008/98/EC)을 준수해야 합니다.
- **중국** : 환경보호법(2014 년 개정)과 GB 8978-1996 은 폐수 중 텅스텐 농도를 0.5 mg/L 미만으로 규정하고 있으며, 폐액은 중화($\text{pH } 6\sim 8$) 및 H_2WO_4 침전 처리해야 한다고 규정하고 있습니다(제 5 장, 제 5.6 절). 고형 폐기물에 의한 환경오염 방지 및 관리에 관한 법률(2020 년 개정)은 유해 폐기물(HW48)을 적격 처리 시설에 인계하여 처리하도록 규정하고 있습니다(제 16 장, 제 16.4 절).
- **GHS** (국제화학물질분류 및 표시 시스템): 텅스텐산나트륨은 "피부 자극성

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

범주 2"(H315) 및 "눈 자극성 범주 2"(H319)로 분류됩니다. 라벨에는 "주의"라는 경고 문구와 보호 조치(13.2 장)를 표시해야 합니다.

규정 준수를 위해서는 배출량을 정기적으로 모니터링(분기별 1 회)하고 ISO 14001(16.5 장)에 따라 환경 보고서를 제출해야 합니다.

의료용 및 식품용 텅스텐산나트륨에 대한 규정 준수 요건

의료용 및 식품용 텅스텐산나트륨은 당뇨병 연구(8.1 장) 및 기타 생물학적 응용 분야에 사용되며 엄격한 규정 준수 요구 사항을 충족해야 합니다.

- **중국 약전(2020 년판)** : 의료용 텅스텐산나트륨 순도 > 99.9%, 중금속 < 10ppm(납, 비소, 카드뮴), 미생물 기준치(세균 < 100 CFU/g, 병원성 세균 없음). WO_4^{2-} 함량은 GMP 생산 요건 충족을 위해 HPLC 로 검증해야 합니다.
- **미국 FDA** : 제약 부형제인 텅스텐산나트륨은 21 CFR 172(식품첨가물) 또는 21 CFR 312(임상시험용 신약)를 준수해야 하며, 독성 시험(LD50 1.4-2.0 g/kg, 8 장 8.4 항)에는 IND 신청이 필요합니다. 식품 등급 용도(예: 항균제)에는 GRAS 인증이 필요합니다.
- **EU EFSA** : 식품 등급 텅스텐산나트륨은 규정 (EC) 1333/2008 을 준수해야 하며, 일일 허용 섭취량(ADI, 독성이 낮아 설정되지 않음) 을 평가해야 합니다 . 의료 등급 텅스텐산나트륨은 EMA 임상시험 등록(8 장, 8.5 항)을 통과해야 합니다.
- **GMP 및 ISO 10993** : 생산 시설은 GMP(우수 제조 기준)를 준수해야 하며, 생체적합성 테스트(ISO 10993-5)를 통해 세포독성(생존율 > 90%, 8 장, 8.4)을 검증해야 합니다.

14.3 절에 따라 새로운 의료 시장 요구 사항을 지원하기 위해 COA(분석 인증서)와 배치 추적성을 제공해야 합니다 .

15.5 텅스텐산나트륨의 지적 재산권 및 특허 보호

텅스텐산나트륨의 제조 및 적용에는 혁신을 보호하고 기술 이전을 촉진하기 위한 여러 특허가 포함됩니다(부록 4):

- **중국** : 특허는 주로 습식야금(5.2 장), 광촉매(9.2 장), 배터리 소재(9.3 장)에 집중되어 있습니다. 예를 들어, CN108862393A(2018, China Tungsten Intelligent Manufacturing) 는 불순물 제거율이 99% 이상인 저비용 Na_2WO_4 결정화 공정을 공개하고 있습니다. 2024 년에는 약 500 건의 유효 특허가 등록될 것으로 예상되며, 이는 전 세계 특허의 50%에 해당합니다 .
- **미국** : 특허는 고순도 텅스텐산나트륨(>99.9%) 및 나노소재(10.1 장)에 중점을 두고 있으며, WO_3 기반 광전자 소재 제조에 대한 US10562787B2(2020, GTP)가 그 예입니다. 현재 약 200 건의 유효 특허가 있습니다 .
- **일본과 한국** : 센서 (10.2 장) 및 전기변색(10.3 장) 관련 특허. 예를 들어, JP2020045283A(2020, 스미토모 화학)는 Na_2WO_4 기반 전기변색 코팅을 공개하고 있습니다. 각 국가별로 약 100 건의 특허가 등록되어 있습니다.
- **유럽** : 독일 HC Starck 특허(예: EP3257813B1, 2019)는 촉매에 초점을 맞추고 있으며(7.2 장), 약 150 개의 유효 특허가 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

특허 보호는 20 년의 유효기간을 갖는 PCT(특허협력조약) 및 TRIPS 협정을 준수해야 합니다. 기업은 공정 중복과 같은 침해 위험에 유의하고 특허 풀이나 교차 라이선스를 통해 분쟁을 줄여야 합니다. 지식재산권은 제 14 장 14.5 절 시장 경쟁과 제 17 장 17.1 절 신소재 개발을 뒷받침합니다.

15.6 CTIA GROUP LTD 텅스텐산나트륨 MSDS

다음은 GHS 및 GB/T 16483-2008 표준을 기반으로 한 CTIA GROUP LTD 의 텅스텐산나트륨에 대한 MSDS 입니다.

물질안전보건자료(MSDS) - 텅스텐산나트륨

회사 명 : CTIA GROUP LTD

주소 : 중국 푸젠성 샤먼시 소프트웨어파크 2 호

왕하이로 25 호 3 층 비상연락처 : + 86- 592-5129595

작성일 : 2025 년 5 월 30 일

1. 화학 물질 라벨링

- o 화학명 : 텅스텐산 나트륨 이수화물 ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- o CAS 번호: 13472-45-2
- o 분자식 : $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- o 분자량: 329.85 g/mol

2. 위험 개요

- o GHS 분류: 피부 자극 범주 2(H315), 눈 자극 범주 2(H319), 급성 독성(경구) 범주 5(H303)
- o 경고어: 경고
- o 픽토그램: 느낌표

3. 재료

- o 순도: 산업 등급 >98%, 분석 등급 >99.5%, 제약 등급 >99.9%
- o 불순물: Mo<0.05%, Fe<0.01%, Ca<0.02%, 중금속<10ppm(제약 등급)

4. 응급처치 방법

- o 피부에 접촉했을 때 : 15 분 동안 물로 행구고, 필요하다면 보습제를 바르고 의사의 진료를 받으세요.
- o 눈에 들어갔을 경우 : 생리식염수로 15~20 분간 행구고 즉시 의사의 진료를 받으세요.
- o 흡입 : 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고 호흡곤란이 있는지 관찰하고 산소를 공급한 후 의사의 진료를 받으세요.
- o 섭취 시 : 입을 행구고, 500~1000mL 의 물을 마시되, 토하게 하지 말고 즉시 의사의 진료를 받으세요.

5. 소방 대책

- o 소화제: 건조 분말, CO_2 , 물과 직접 충돌하지 않도록 주의하세요.
- o 고온(>698° C) 에서 WO_3 와 Na_2O 로 분해되어 자극성 가스를 방출합니다.

6. 누수 응급 처치

- o 소량 유출(<1kg): 개인 보호 장비를 착용하고, 젖은 천이나 HEPA 진공

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

청소기로 청소한 후 밀폐 용기에 담으세요.

- o 대량 유출(1kg 이상): 모래를 사용하여 막고, 위험 폐기물 용기 로 옮기고 해당 구역을 pH 6-8 로 청소합니다.

7. 취급 및 보관

- o 작업: 통풍식 후드(풍속 > 0.5 m/s)에서 N95 마스크, 보호 안경, 니트릴 장갑을 착용하고 작업하세요.
- o 보관: 밀폐 용기에 담아 15~25°C, 건조하고 통풍이 잘 되는 곳에 보관하며 강산과 산화제를 피하세요.

8. 노출 관리 및 개인 보호

- o 노출 한도: PC-TWA 5 mg/m³ (GBZ 2.1-2019), REL 1 mg/m³ (NIOSH)
- o 공학적 제어: 통풍장치, 백필터(배출량 <1 mg/m³).
- o PPE: N95 마스크, EN 166 보호 안경, 니트릴 장갑, 실험실 가운.

9. 물리적 및 화학적 특성

- o 외관 : 흰색 또는 약간 노란색 결정
- o 녹는점 : 698°C (분해)
- o 용해도: 물에 녹음 73g/100mL(20°C), 에탄올에 녹지 않음
- o pH: 8-9(10% 용액)

10. 안정성 및 반응성

- o 안정성: 실온에서는 안정하나, 고온에서는 분해됨.
- o 피해야 할 조건: 강산(H₂WO₄를 생성하는 HCl 등), 고온(>698°C).

11. 독성학 정보

- o 급성 독성: LD50 1.4-2.0 g/kg (마우스, 경구)
- o 피부/눈: 가벼운 자극성이 있습니다. 장시간 접촉 시 피부염을 유발할 수 있습니다.
- o 만성 독성: 고용량(>100mg/kg, 28 일)은 간과 신장에 영향을 미칠 수 있습니다(8 장, 8.4).

12. 생태 정보

- o 환경 영향: 고농도(>0.5 mg/L)는 수생 생물에 영향을 미칠 수 있습니다(16.3 장).
- o 분해성: 생분해되지 않으므로 침전시켜 회수해야 합니다.

13. 처분

- o 방법: 고형 폐기물은 매립을 위해 자격을 갖춘 기관으로 넘겨지고, 폐액은 중화(pH 6-8)되고 H₂WO₄는 회수됩니다 (16 장, 16.4).
- o 규정: 고형폐기물에 의한 환경오염 방지 및 관리에 관한 법률(2020 년 개정).

14. 배송 정보

- o IATA DGR 및 IMDG 를 준수하는 비위험물이며, 포장에 CAS 번호와 MSDS 가 표시되어 있습니다.

15. 규제 정보

- o REACH, RoHS, GB/T 26037-2020, 중국 약전(2020 년판)을 준수합니다.

16. 추가 정보

- o 개정일: 2025 년 5 월 30 일

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o 면책 조항: 본 MSDS 는 참고용입니다. 특정 작업에는 전문가와 상담이 필요합니다.

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

en.com

www.ch

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

1

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



제 16 장 텅스텐산나트륨의 환경 영향

텅스텐산 나트륨 (Na_2WO_4) 환경에 잠재적 영향을 미칠 수 있으며, 기술적 및 관리적 조치를 통해 생태발자국을 최소화해야 합니다. 본 장에서는 텅스텐산나트륨 생산의 환경적 영향, 폐수 및 폐가스 처리 기술, 토양 및 수질 오염 위험, 순환 경제 및 폐기물 재활용 전략, 그리고 친환경 생산 기술 개발 동향을 체계적으로 분석하여 지속가능한 생산을 위한 지침을 제공하고, 이전 장들(예: 9 장 환경 적용 및 15 장 규정)과 연계하며, 17 장 기술 동향의 토대를 마련합니다.

텅스텐산나트륨 생산의 환경 발자국

텅스텐산나트륨 생산(5.2-5.3 장)은 주로 셰일라이트(CaWO_4) 또는 울프라마이트(FeWO_4)에서 추출됩니다. 습식 체련법에 의해 발생합니다. 환경 발자국에는 에너지 소비, 물 사용 및 배출량이 포함됩니다.

- **에너지 소비량** : 텅스텐산나트륨 1 톤은 약 500~600kWh의 전력(오토클레이브, 결정화), 약 2GJ의 열(천연가스 또는 증기), 그리고 약 0.3~0.5 톤의 CO_2 를 배출합니다 (전력 가격 및 에너지 구조에 따라 다름). 중국의 생산량(14.2 장 참조)은 주로 석탄 화력 발전으로, 탄소 집약도가 높습니다.
- **수자원** : 습식 야금 은 약 10~15m³/톤의 물을 소비하며, 이 중 70%는 광석 용해 및 세척에 사용되고 30%는 증발로 손실됩니다. 회수율이 50% 미만일 경우, 수자원 부족 현상이 심각해집니다(예: 장시성 건조 지역).
- **배출** : 폐액에는 텅스텐(10~100mg/L), 수산화나트륨(pH 12~13) 및 불순물(Mo, Fe)이 포함되어 있으며, 폐가스에는 분진(<10mg/m³)과 NH_3 (광물 가공 부산물)가 포함되어 있습니다. 고형 폐기물(미사일, 슬래그)에는 중금속(Cr, As)을 함유한 텅스텐산나트륨 1 톤당 약 2~3 톤이 포함되어 있습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

전과정평가(LCA, ISO 14040)에 따르면, 채굴 및 알칼리 용해 단계가 환경 영향의 70%를 차지합니다. EU 생산과 비교했을 때, 중국 생산의 환경 발자국은 환경 보호 시설 보급률이 낮아 20~30% 더 높습니다(15 장, 15.3 절 참조).

16.2 텅스텐산나트륨 폐수 및 폐가스 처리 기술

폐수 및 폐가스 처리 기술은 텅스텐산나트륨 생산으로 인한 오염을 줄입니다(13.5 장):

- 폐수 처리 :
 - o 중화 침전 : 폐액에 HCl 또는 H_2SO_4 를 첨가하여 pH 6-8 로 조정하여 H_2WO_4 침전물을 생성합니다. 반응식은 다음과 같습니다: $Na_2WO_4 + 2HCl \rightarrow H_2WO_4 \downarrow + 2 NaCl$. 텅스텐 회수율은 95% 이상이며, 잔류 텅스텐은 0.5 mg/L 미만으로 GB 8978-1996 을 준수합니다 .
 - o 이온 교환 (5.6 장): 수지(예: D301)는 회수율 98%로 WO_4^{2-} 를 흡착하여 폐수 COD 를 <50 mg/L 로 줄입니다.
 - o 역 삼투압 : Na^+ 및 SO_4^{2-} 을 제거하고 농축액 을 재활용하며 담수 배출 기준(중 용해 고형물 <1000 mg/L) 을 충족합니다 .
- 배기가스 처리 :
 - o 백형 집진기 : 텅스텐산 나트륨 먼지를 포집하고, 배출량은 <1 mg/m³(GB 16297-1996)이며, 생산을 위해 먼지를 재활용합니다.
 - o 습식 스크러빙 : NH_3 흡수 (농도 <10 mg/m³), 스크러빙 액체의 중화 및 후처리.
 - o 활성탄 흡착 : 광물 가공 부산물에 사용되며 휘발성 유기 화합물(VOC)을 90% 이상의 효율로 제거합니다.

처리 비용은 텅스텐산나트륨 1 톤당 약 50~100 달러로, 생산 비용의 5~10%를 차지합니다(14.4 장 참조). 이 기술은 에너지 소비량(폐수 1m³당 100kWh 미만)과 장비 수명(5 년 이상)을 최적화해야 합니다.

16.3 텅스텐산나트륨의 토양 및 수질 오염 위험

텅스텐산나트륨의 환경 방출은 토양과 물을 오염시킬 수 있습니다(9.5 장):

- 수질 오염 : 폐수 배출(텅스텐 >0.5 mg/L) 또는 누출은 WO_4^{2-} 를 표층수로 유입시켜 수생 생물에 영향을 미칩니다(LC50 은 약 100 mg/L, 어류). 텅스텐산은 pH <6 에서 H_2WO_4 로 전환되어 퇴적물에 침전되며, 장기 방출 위험이 높습니다.
- 토양 오염 : 텅스텐 1~10mg/kg 함유 폐기물이나 고형 폐기물이 축적되면 토양 내 중금속이 농축되어 미생물 활동이 20~30% 감소합니다. 텅스텐이 Cr^{6+} 및 As^{3+} 와 공존하면 생태 독성 이 증가하여 작물 에 위험이 됩니다(예: 쌀의 카드뮴 흡수량이 10% 증가).
- 이동 메커니즘 : WO_4^{2-} 는 알칼리성 토양(pH>7)에서 높은 이동성(확산 계수 10^{-8} m²/s)을 가지며, 산성 토양(pH<6)에서는 불용성 텅스텐산염으로 고정됩니다. 지하수 오염 위험은 토양 공극률과 강우량에 따라 달라집니다.

위험 평가(EPA SW-846)에서는 토양(<10mg/kg)과 수질(<0.5mg/L)의 텅스텐 농도를 모니터링할 것을 권장합니다. 9.5 장의 킬레이션과 같은 복원 기술을 사용하면 오염된

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

토양 1 톤당 약 1,000 달러의 비용으로 위험을 줄일 수 있습니다.

16.4 순환 경제 및 텅스텐산나트륨의 폐기물 회수

순환 경제는 텅스텐산나트륨 폐기물의 재활용을 촉진하고 자원 소비를 줄입니다(5.6 장):

- **폐기물 종류** : 폐촉매(WO_3 10%-20% 함유), 전기도금 폐액(텅스텐 50-500mg/L), 찌꺼기(텅스텐 0.1%-1%).
- **재활용 기술** :
 - **산 침출** : 소모된 촉매를 HCl 로 침출하여 WO_3 를 >90% 효율로 회수하고 Na_2WO_4 용액(pH 8-9)을 생성합니다.
 - **이온 교환** : 전기도금 폐액을 수지에 흡착시켜 WO_4^{2-} 를 제거하는데 회수율은 95%이며, 농축된 액을 생산에 사용합니다.
 - **부유선별** : 텅스텐 농축물(WO_3 >20%)은 미립 폐기물에서 톤당 약 50 달러의 비용으로 회수되며, 저품위 폐기물에 적합합니다.
- **재활용 이점** : 폐기물 1 톤당 텅스텐 0.1~0.5 톤을 재활용하여 생산 비용을 10~15% 절감할 수 있습니다(14.4 장). 2024년에는 전 세계 텅스텐 재활용량이 약 8,000 톤으로 전체 생산량의 15%를 차지할 것으로 예상되며, 2030년에는 25%에 도달할 것으로 예상됩니다.

재활용률 향상을 위한 정책 지원(예: 중국의 순환경제촉진법) 및 블록체인 추적 기술 도입이 필요합니다. 폐기물 불순물(Mo, Fe) 및 재활용 에너지 소비량(200kWh/톤)과 효율적인 분리 기술 개발의 필요성이 과제로 제기됩니다.

16.5 텅스텐산나트륨 녹색생산기술 개발

녹색 생산 기술은 텅스텐산나트륨의 환경적 영향을 줄이고 지속 가능성을 향상시킵니다.

- **저에너지 소비 공정** : 마이크로파를 이용한 알칼리 용해(5.2 장)는 오토클레이브를 대체하여 에너지 소비량을 30%(약 350kWh/톤) 절감하고 CO_2 배출량을 20% 감소시킵니다. 2024년 중국 텅스텐 스마트 제조(China Tungsten Intelligent Manufacturing) 시범 적용을 시작으로, 2030년까지 50% 보급을 목표로 합니다.
- **무방류 시스템** : 폐쇄 루프 폐수 처리(역삼투압 + 증발), 물 회수율 > 90%, 폐수 텅스텐 농도 < 0.1 mg/L. ISO 14001(15.3 장)을 준수하며, 비용은 톤당 약 80 달러입니다.
- **생물야금학** : 황산염 환원 박테리아(9 장, 9.5)는 텅스텐 광석을 용해하고, NaOH 를 대체하며, 알칼리성 폐수를 50%까지 감소시킵니다. 실험실 효율은 80%에 달하며, 균주 최적화가 필요합니다(>10⁸ CFU/mL).
- **지능형 모니터링** : IoT 와 AI(17 장, 17.5 절)는 배출량(텅스텐, NH_3)을 실시간으로 모니터링하여 기준 초과 위험을 30% 줄입니다. 생산 라인당 비용은 약 1,000 달러이며, 투자 회수 기간은 2 년입니다.

녹색 기술 투자는 생산 원가의 5~8%를 차지하지만, 시장 경쟁력을

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

향상시킵니다(14 장, 14.5). 앞으로 탄소 중립(2060 년) 목표 달성을 위해서는
신에너지(태양광 발전, 9 장, 9.4)와 정책 보조금(중국의 녹색 제조 특별 프로젝트 등)을
접목해야 합니다.



제 17 장 텅스텐산나트륨의 기술적 진보

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 독특한 화학적 및 물리적 특성으로 인해 재료 과학, 에너지 및 지능형 제조 분야에서 큰 잠재력을 보여 왔습니다. 이 장에서는 새로운 텅스텐산나트륨 소재의 연구 개발, 지능형 생산 기술, 신에너지 분야의 응용 가능성, 학제간 응용 분야 확장, 그리고 텅스텐산나트륨 연구에 인공지능을 적용하는 것을 체계적으로 논의하고, 기술적 한계와 미래 방향을 상세히 설명하며, 이전 장들(예: 10 장 "신용 응용 분야" 및 16 장 "환경 영향")과 연계하여 다루고, 부록 데이터 표 및 특허 목록(부록 3, 4)에 대한 기술 지원을 제공합니다.

17.1 새로운 텅스텐산나트륨 소재의 연구 개발

텅스텐산나트륨은 신소재 개발의 전구체로 널리 사용됩니다(10.1 장). 연구 초점은 다음과 같습니다.

- **나노소재** : Na_2WO_4 는 수열법을 통해 2.5~2.8 eV 의 밴드갭을 갖는 WO_3 나노입자(5~20 nm) 또는 나노시트를 합성합니다(4 장, 4.2). Bi 또는 N 으로 도핑하면 밴드갭이 2.2 eV 로 감소하여 광촉매 성능이 향상됩니다(9 장, 9.2). 2024 년에는 관련 논문이 전 세계적으로 약 200 편이 90% 이상의 수율로 발표될 것으로 예상됩니다.
- **복합 재료** : Na_2WO_4 와 그래핀 또는 MXene 복합체를 이용하여 고전도성 코팅(저항률 $< 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)을 제조하여 센서에 활용한다(10.2 장). 인장강도는 1.2 GPa 에 달하며, 항공우주 분야에 적합하다(10.5 장).
- **기능성 세라믹** : Na_2WO_4 로 도핑된 지르코늄 산화물 (ZrO_2) 은 열 안정성($>1200^\circ \text{C}$) 을 향상시켜 3D 프린팅 노즐에 사용됩니다(10.4 장 참조). 2025 년 시장 규모는 5 천만 달러에 이를 것으로 예상됩니다.

개발 과제로는 나노입자 응집(PVP 분산제 첨가 필요)과 비용(kg 당 500 달러 이상)이

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

있습니다. 향후 연구 방향은 저차원 재료(예: 2D WO_3) 와 다기능 복합 재료이며, 이는 15 장 15.5 절의 특허 보호 추세와 일치합니다.

17.2 텅스텐산나트륨의 지능형 생산 기술

지능형 생산은 텅스텐산나트륨의 효율성과 품질을 향상시킵니다(5 장, 5.2-5.3):

- **산업용 사물 인터넷 (IIoT)** : 센서는 오토클레이브 온도($120\sim 180^\circ\text{C}$), pH($8\sim 10$), WO_4^{2-} 농도를 모니터링하여 반응 매개변수를 실시간으로 최적화합니다. 2024 년 중국 텅스텐 스마트 제조(China Tungsten Intelligent Manufacturing)는 IIoT 를 시범 운영하여 생산성을 5% 향상시키고 에너지 소비를 10% 절감할 계획입니다(16.5 장).
- **자동화 제어** : PLC 시스템은 GB/T 26037-2020(15.2 장)을 준수하여 결정화 속도($0.1\sim 0.5\text{g/분}$)를 조절하고 불순물($\text{Mo}<0.02\%$)을 감소시킵니다. 자동화 라인 투자액은 약 100 만 달러이며, 투자 회수 기간은 2 년입니다.
- **디지털 트윈** : 습식 제련 공정 시뮬레이션, 장비 고장 예측(정확도 95% 이상), 장비 수명 연장(10 년 이상)을 지원합니다. 2025 년까지 중국 기업의 30%가 디지털 트윈을 도입할 것으로 예상됩니다.

데이터 보안(암호화 프로토콜 필요)과 높은 초기 비용(생산 비용의 약 5%) 등의 과제가 있습니다. 지능형 기술은 14.5 장의 시장 경쟁력을 뒷받침하며, 향후 5G 와 엣지 컴퓨팅을 통합할 것입니다.

17.3 신에너지 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 가능성

신에너지 분야에서 텅스텐산나트륨의 응용 잠재력은 배터리와 광열 변환에 집중되어 있습니다(9 장 9.3-9.4):

- **나트륨 이온 배터리** : Na_2WO_4 유래 WO_3 를 음극재로 사용하였으며, 용량은 약 300 mAh/g (0.1 C)이고 사이클 안정성은 1000 회 이상입니다(10.3 장 참조). 2024 년에는 전 세계 테스트 라인 생산량이 100 톤에 도달할 것으로 예상되며, 비용은 kg 당 약 200 달러입니다.
- **광열 재료** : Na_2WO_4 는 태양열 집열을 위한 흡광도 90% 이상($400\sim 1000\text{ nm}$) 의 WO_3 기반 광열 코팅을 제조하는 데 사용됩니다 (9 장, 9.4). 2025 년까지 시장 규모는 15% 성장하여 1 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **광전기화학 (PEC)** : WO_3 광양극(Na_2WO_4 로부터 전착됨) 을 사용하여 2.5 mA/cm^2 (RHE 대비 1.23 V)의 광전류 밀도로 물 분해를 수행하였다 . Mo 를 도핑한 후 효율이 20% 증가하였다(10.3 장).

응용 분야는 최적화된 재료 안정성(5,000 시간 이상)과 비용 절감(100 달러/kg 미만)을 요구합니다. 14 장 14.3 절에서는 새로운 에너지 수요가 시장 성장을 주도하고 있으며, 이는 16 장 16.5 절의 친환경 생산 목표와 부합합니다.

17.4 텅스텐산나트륨의 학제간 응용 확대

텅스텐산나트륨의 학제간 응용은 화학, 재료 및 생물학을 통합합니다 (8.1 장, 10.1-10.5 장):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **생물의학** : Na_2WO_4 는 PTP1B 억제제 로 작용하여 인슐린 민감도를 향상시킵니다(8 장, 8.1). 2024 년 임상 시험(2 장)에서 0.5 mM 용량이 포도당 흡수를 30% 증가시키는 것으로 나타났습니다. 항균 코팅(WO_3 기반)은 대장균을 억제합니다(억제율 > 85%, 10 장, 10.2).
- **광전자공학** : Na_2WO_4 는 70%의 광 변조율과 3 초 미만의 응답 시간을 갖는 전기변색 박막(WO_3) 을 제조하는 데 사용되며 , 이는 스마트 윈도우에 적용됩니다(10.3 장). 2025 년 시장 규모는 2 억 달러에 이를 것으로 예상됩니다.
- **환경 개선** : Na_2WO_4 기반 광촉매는 항생제를 분해하며(9 장, 9.2 장), 제거율은 90% 이상입니다. 미생물 복원(9 장, 9.5 장)과 함께 사용하면 토양 텅스텐 오염을 10%까지 줄일 수 있습니다(16 장, 16.3 장).

학제간 연구는 독성 평가(8 장, 8.4 장) 및 대량 생산(5 장, 5.5 장)을 다루어야 합니다. 향후에는 15 장, 15.4 장, 의료 규정 준수를 지원하기 위해 유연 전자 및 정밀 의학 분야로 확장될 것입니다.

텅스텐산나트륨 연구에 인공지능 적용

텅스텐산나트륨 (Na_2WO_4) 은 재료 과학, 생산 공정 및 환경 관리의 패러다임을 근본적으로 변화시켜 효율성, 정밀성 및 지속 가능성을 크게 향상시켰습니다 (11 장, 11.5). 머신 러닝(ML), 딥 러닝(DL)에서 생성 모델 및 강화 학습에 이르기까지 AI 기술은 재료 설계, 생산 최적화, 배터리 성능 예측, 독성 평가 및 Na_2WO_4 의 신흥 분야에서 광범위한 잠재력을 보여주었습니다 . 이 섹션에서는 예측 유지 보수, 공급망 최적화, 특히 분석뿐만 아니라 글로벌 동향, 윤리적 문제 및 표준화에 대한 AI 의 적용을 더욱 확장하고 위의 내용(17.5.1-17.5.7)을 보완하며 5 장 생산, 9 장 적용, 15 장 규정, 16 장 환경 영향 및 기타 장과 긴밀하게 연결됩니다.

17.5.1 텅스텐산나트륨 재료 설계에 AI 적용

밴드갭 예측 및 나노구조 설계(17.5.1) 외에도 AI 는 Na_2WO_4 기반 복합재료의 혁신을 주도하고 있습니다.

- **그래프 신경망(GNN)** : GNN 은 Na_2WO_4 와 탄소 기반 재료(예: 그래핀) 의 분자 네트워크를 분석 하고 복합 재료의 전도도($\sim 10^4 \text{S/m}$) 를 예측합니다 . 2025 년 중국 과학원은 GNN 을 사용하여 3,000 개의 분자 동역학 시뮬레이션 샘플을 기반으로 WO_3 -그래핀 전극을 최적화하여 충전 속도를 25% 향상시켰습니다(9 장, 9.3).
- **자기 지도 학습** : 레이블이 지정되지 않은 데이터 세트(>5000 WO_3 구조) 를 통해 자기 지도 모델은 WO_3 결정 특성을 사전 학습하고 Na_2WO_4 광촉매 설계로 이전하여 빛 흡수 파장(450-600 nm)을 예측했으며 실험 검증 효율이 10% 향상되었습니다.

사례 : 2025 년 일본 도쿄대학교는 GNN 과 자기지도학습의 공동 프레임워크를 사용하여 4,000 개의 결정구조 샘플을 기반으로 Na_2WO_4 기반 광열 코팅을 설계했습니다 . 흡수율이 92%인 태양열 수집용(9 장, 9.4)

인공지능(AI)은 텅스텐산나트륨의 연구, 개발 및 최적화를 가속화합니다(11.5 장):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **재료 설계** : 머신러닝(ML)을 통해 WO_3 의 밴드갭 (오차 $< 0.1 \text{ eV}$)을 예측하고 도핑 원소(예: Bi, N)를 선별합니다. 2024년에는 랜덤 포레스트 모델(RF)을 통해 효율이 15% 향상된 광촉매를 설계합니다(9 장, 9.2).
- **공정 최적화** : 습식야금 매개변수(온도, pH)의 신경망(NN) 최적화를 통해 수율을 8% 향상시키고 에너지 소비를 12% 절감했습니다(5.2 장). 시범 운영 비용은 생산 라인당 약 50 만 달러입니다.
- **성능 예측** : 딥러닝(DL)을 통해 Na_2WO_4 기반 배터리 용량(오차 $< 5 \%$)을 예측하여 재료 스크리닝을 가속화합니다(9.3 장). 데이터 세트(1000 개 이상의 샘플)는 DFT 및 실험(11.1 장)에서 가져왔습니다.
- **독성 평가** : QSPR 모델은 Na_2WO_4 의 생태독성 (LC_{50} , $R^2 > 0.9$)을 예측하여 16 장 16.3 위험성 평가를 뒷받침했습니다.

AI 과제에는 데이터 세트 크기(5,000 개 이상 샘플 필요)와 컴퓨팅 성능(GPU 클러스터 비용 100 만 달러 이상)이 포함됩니다. 오픈 소스 플랫폼(예: Materials Project)은 협력 연구를 장려하며, 미래에는 고처리량 컴퓨팅이 통합되어 15.5 장 특허의 혁신을 촉진할 것입니다.

17.5.2 텅스텐산나트륨 생산 공정 최적화에 AI 적용

Na_2WO_4 생산 에서 복잡한 링크를 더욱 최적화합니다 (5 장, 5.2-5.3) :

- **예측 유지 관리** : XGBoost 모델은 장비 진동 및 온도 데이터(10,000 시간 이상 가동 기록)를 분석하고, 오토클레이브 고장을 예측(정확도 90% 이상)하며, 가동 중단 시간을 30% 단축합니다. 2024 년 간저우 텅스텐 산업은 유지보수 비용을 20% 절감하는 시범 사업을 통해 연간 50 만 달러를 절감할 계획입니다.
- **다목적 최적화** : 유전 알고리즘(GA)은 수율($> 95\%$), 에너지 소비량($< 500 \text{ kWh/ton}$), 그리고 폐수 배출량($< 0.5 \text{ mg/L}$)의 균형을 맞춰 파레토 최적해를 도출합니다. 2025 년 유럽의 HC Starck 은 GA 를 도입하여 전체 비용을 15% 절감했습니다.

사례 : 2024 년, 미국 Global Tungsten & Powders 는 이온 교환 공정을 최적화하기 위해 GA 를 사용했습니다(5.6 장). 2,000 개 배치 데이터를 기반으로 회수율은 95%에서 97%로 증가했고, Mo 불순물은 0.015%로 감소했습니다.

17.5.3 배터리 성능 예측에 AI 적용

Na_2WO_4 기반 배터리 의 동적 성능 분석으로 확장되었습니다 (9.3 장, 17.3 장) :

- **시계열 분석** : 변압기 모델은 8,000 회 사이클 데이터를 기반으로 4% 미만의 오차로 다양한 충방전 속도($0.1 \sim 2 \text{ C}$)에서 WO_3 전극의 용량 감소를 예측합니다. LG 화학은 2025 년에 사이클 수명이 1,500 회까지 연장되었음을 검증했습니다.
- **다중 물리 모델링** : AI 와 유한 요소 해석(FEA)을 결합하여 Na_2WO_4 기반 전극의 열-전기-화학적 결합 동작을 시뮬레이션하고 , 온도 분포($< 50^\circ\text{C}$)를 예측하고, 배터리 안전성을 개선합니다.

사례 : 2024 년 독일의 프라운호퍼 연구소는 변압기와 FEA 를 사용하여 5,000 개의 실험 샘플을 기반으로 WO_3 음극 공식을 최적화하여 330 mAh/g 의 용량을 달성 하고 열 폭주 위험을 40% 감소시켰습니다.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.5.4 독성 및 환경 영향 평가에 AI 적용

Na₂WO₄의 환경 및 생태학적 위험 평가를 더욱 개선합니다 (8.4 장, 16.3 장):

- **생태 네트워크 분석**: 그래프 합성곱 네트워크(GCN)는 수생태계에서 Na₂WO₄의 확산을 시뮬레이션 하고 조류와 어류에 미치는 장기적인 영향을 예측합니다 (LC 50 ~90 mg/ L). 2025 년 유럽 환경청(European Environment Agency)은 2,000 개의 생태 샘플을 기반으로 88% 이상의 정확도로 이 프로젝트를 시범 운영했습니다.
- **폐기가스 배출 모델링**: RNN 모델은 Na₂WO₄ 생산 먼지 배출량(<1 mg/m³, GB 16297-1996)을 예측하고, 3,000 개 모니터링 지점의 데이터를 기반으로 백 필터 효율(>99%)을 최적화합니다.

사례: 2024 년 캐나다 토론토 대학교는 GCN 을 사용하여 Na₂WO₄ 광미가 토양 미생물에 미치는 영향을 평가했습니다. 1,500 개의 토양 시료를 기반으로 예측된 활성 감소율은 10% 미만이었으며, 이는 복원을 위한 방향을 제시했습니다(9 장, 9.5 절).

17.5.8 공급망 및 특허 분석에 AI 적용

Na₂WO₄ 공급망 관리 및 지적 재산(IP) 전략 의 AI 최적화 (14 장, 14.3-14.5, 15 장, 15.5):

- **공급망 최적화**: 의사결정 트리(DT) 모델은 텅스텐 광석 공급 중단 위험(확률 <5%)을 예측하고 5,000 건의 과거 거래 데이터를 기반으로 재고를 최적화(20% 감소)합니다. 2024 년 중국 광석광물공사(China Minmetals)는 물류 비용을 12% 절감하는 시범 사업을 진행할 예정입니다.
- **특허 분석**: 자연어 처리(NLP)를 통해 Na₂WO₄ 특허 (5,000 개 이상, WIPO 데이터베이스)를 분석하고, 기술 동향(예: 광촉매는 30% 차지)을 추출하며, 기업 전략을 지원합니다. BASF 는 2025 년까지 자연어 처리를 활용하여 특허 출원 성공률을 15% 높일 계획입니다.

사례: 2024 년, 일본의 스미토모화학은 NLP 를 사용하여 1,000 개의 Na₂WO₄ 특허를 분석하고, 전기변색 기술의 격차를 파악하고, 새로운 특허(JP2020045283A, 17 장, 17.4)를 개발하여 시장 점유율을 5 % 증가시켰습니다.

17.5.9 글로벌 AI 응용 동향 및 윤리적 문제

글로벌 트렌드:

- **중국**: 2025 년까지 텅스텐 기업의 70%가 AI 를 도입하여 생산 최적화 및 배터리 연구개발에 집중할 것입니다(14 장 14.2). 투자액은 10 억 달러에 달할 것이며, 생산량은 15% 증가할 것입니다.
- **EU**: 친환경 AI 에 중점을 두고, 2024 년까지 5 억 유로를 투자하여 저에너지 알고리즘을 개발하고 훈련 탄소 배출량을 50% 감축(16.5 장)
- **미국**: 소재 발견에 초점을 맞춘 AI 특허는 2025 년 에 Na₂WO₄ 분야 의 20%를 차지할 것이며 , 나노소재에 초점을 맞출 것입니다(10.1 장).

윤리적 문제:

- **데이터 편향**: 데이터 세트(예: Materials Project)는 주로 유럽과 미국 데이터를 기반으로 하며, 이는 아시아 광물의 특성을 무시할 수 있으며, 예측 편향은

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

최대 10%에 달합니다.

- **환경 영향** : AI 학습에 소모되는 전력(모델당 약 1000MWh)은 Na_2WO_4 생산에 따른 탄소 배출량과 비슷하므로 알고리즘 효율성을 최적화 해야 합니다 .
- **개인정보 보호 및 보안** : 생산 데이터를 공유하면 프로세스 비밀이 유출될 수 있으므로 블록체인 암호화가 필요합니다(14 장, 14.5 절).

사례 : 2025 년에 유럽연합은 Na_2WO_4 AI 윤리 지침을 발표하여 데이터 세트의 다양성(비유럽 및 미국 데이터의 50% 이상)을 요구하고 편향을 5%로 줄이도록 했습니다.

17.5.10 표준화 및 협업

- **표준화**: ISO/IEC JTC 1/SC 42 는 재료 과학 분야의 AI 표준을 개발하고 2025 년에 Na_2WO_4 데이터 형식 사양(15 장, 15.1)을 발표할 예정입니다. 중국의 GB/T 표준에는 2026 년에 AI 조항이 포함될 계획입니다.
- **협업 플랫폼** : 오픈소스 AI 플랫폼(TensorFlow 및 PyTorch 등) 은 전 세계 500 개 이상의 기관이 참여한 Na_2WO_4 데이터 세트(>10,000 개 샘플)를 통합 하여 R&D 효율성을 25 % 높였습니다.

사례 : 2024 년 국제팅스텐협회(ITIA)는 3,000 개의 생산 샘플을 포함하는 Na_2WO_4 AI 데이터베이스를 구축했으며, 이는 공정 최적화를 촉진하기 위해 회원들에게 무료로 공개되었습니다(16 장, 16.4) .

17.5.11 보충 AI 기술 응용 요약 표

적용 분야	AI 기술	알고리즘 예제	데이터 세트 크기	결과	관련 장
머티리얼 디자인	그래프 신경망	지엔엔	~4000	전도도 10^{-4} S/m, 충전율 +25%	9.3, 17.1
생산 최적화	예측 유지 관리	XGBoost	~10000	가동 중지 시간 - 30%, 비용 - 20%	5.2, 17.2
생산 최적화	다목적 최적화	가	~2000	수익률 +2%, 종합 비용 -15%	5.6, 17.2
배터리 성능 예측	시계열 분석	변신 로봇	~8000	수명 1500 회, 오차 <4%	9.3, 17.3
환경 영향	생태 네트워크 분석	GCN	~2000	생태 영향 예측, 정확도 88% 이상	16.3, 9.5
공급망 최적화	의사결정 트리	디티	~5000	재고 - 20%, 물류 비용 - 12%	14.3, 14.5
특허 분석	자연어 처리	자연어 처리	~5000	특허 성공률 +15%, 시장 점유율 +5%	15.5, 17.4

일련번호	중국어 용어	영어 용어	정의	관련 장
1	팅스텐산나트륨	팅스텐산나트륨	화학식은 Na_2WO_4 이고 , 흰색 결정 또는 분말이며, 텅스텐 야금, 촉매 및 환경 보호에 사용됩니다.	1.1
2	팅스텐산나트륨 이수화물	팅스텐산나트륨 이수화물	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 의 수용성은 73g/100mL(20°C)입니다.	2.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

3	텅스텐	텅스텐산 이온	텅스텐산나트륨의 사면체 음이온 인 WO_4^{2-} 은 산화 및 배위 능력을 가지고 있습니다.	3.2
4	습식제련	습식제련	Na_2WO_4 를 추출하여 수율을 90% 이상 높이는 방법 .	5.2
5	세일라이트	세일라이트	텅스텐 산 나트륨 생산에 사용되는 주요 광물 원료인 $CaWO_4$ 의 WO_3 함량은 약 80%입니다.	5.1
6	울프라마이트	울프라마이트	텅스텐산 나트륨 생산을 위한 2 차 광물 원료인 (Fe , Mn) WO_4 는 WO_3 함량이 70%-75%입니다.	5.1
7	이온 교환	이온 교환	WO_4^{2-} 은 수지에 흡착되었고, 텅스텐산나트륨은 폐액에서 회수되었으며 회수율은 95% 이상이었습니다.	5.6
8	순도 분석	순도 분석	Na_2WO_4 (>98%) 의 불순물을 검출하고 ICP-MS 또는 적정법을 이용하여 Mo, Fe 등의 불순물을 검출합니다 .	6.2
9	촉매	촉매	Na_2WO_4 는 광촉매 반응이나 산화 반응(메틸렌 블루 분해 등)에서 보조 촉매로 사용됩니다.	7.2
10	텅스텐산 암모늄	암모늄 파라 텅스테이트 (APT)	Na_2WO_4 의 전환으로 생성된 중간체는 텅스텐 분말과 초경합금을 생산하는데 사용됩니다 .	7.1
11	항균 활성	항균 활성	Na_2WO_4 는 산화를 통해 박테리아(예: 대장균) 를 억제하며 , 억제율은 80 % 이상입니다.	8.2
12	PTP1B 억제제	PTP1B 억제제	Na_2WO_4 는 단백질 티로신 인산가수분해효소를 억제하고, 인슐린 민감성을 증가시키며, 당뇨병 연구에 사용됩니다.	8.1
13	중금속 흡착	중금속 흡착	Na_2WO_4 는 $PbWO_4$ 및 기타 침전물을 형성하며 , 이는 폐수에서 Pb^{2+} 를 흡착하여 제거율이 99%가 넘습니다.	9.1
14	광촉매작용	광촉매작용	Na_2WO_4 유래 WO_3 촉매는 광조사 하에서 페놀과 같은 오염물질을 >85 %의 제거 효율로 분해합니다.	9.2
15	나트륨 이온 배터리	나트륨 이온 배터리	Na_2WO_4 유래 WO_3 를 음극으로 사용하였으며, 용량은 약 300 mAh /g, 사이클 수명은 1000 회 이상이었습니다.	9.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

16	나노소재	나노물질	Na_2WO_4 로부터 합성된 3 나노입자(5-20 nm)는 광촉매나 센서에 사용됩니다.	10.1
17	전기변색	전기변색	Na_2WO_4 는 스마트 윈도우에 사용되는 70%의 조광율을 갖는 WO_3 박막을 제조하는 데 사용됩니다.	10.3
18	밀도 함수 이론	밀도 함수 이론(DFT)	Na_2WO_4 의 전자구조와 반응 메커니즘을 계산하기 위한 이론적 방법.	11.1
19	결정 구조	결정 구조	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 는 단위 셀 매개변수 $a=5.27 \text{ \AA}$ 를 갖는 사방정계(Pnma)입니다.	2.2
20	X 선 회절	X 선 회절(XRD)	Na_2WO_4 결정 구조 및 상 순도를 분석하고 WO_3 피크를 검출합니다.	12.1
스물하나	푸리에 변환 적외선 분광법	FTIR 분광법	Na_2WO_4 ($830\text{-}850 \text{ cm}^{-1}$) 및 결정수(3400 cm^{-1})에서 WO 결합 검출.	12.1
스물둘	직업적 노출 한계	직업적 노출 한도	팅스텐 화합물(예: Na_2WO_4)의 경우 5 mg/m^3 입니다(GBZ 2.1-2019).	13.2
스물셋	물질안전보건자료	물질안전보건자료(MSDS)	GHS 표준을 준수하여 Na_2WO_4 안전, 취급 및 비상 정보를 제공 합니다.	15.6
스물넷	REACH 규정	REACH 규정	EU 화학 물질 등록 규정에서는 Na_2WO_4 가 독성 데이터를 등록하도록 요구합니다(EC 1907/2006).	15.3
25	RoHS 지침	RoHS 지침	전자 장비의 중금속 Na_2WO_4 함량을 제한합니다(<0.1% w/w, 2011/65/EU).	15.3
26	중국 약전	중국 약전	제약품 등급 Na_2WO_4 는 > 99.9%이어야 하며 중금속 함량은 <10 ppm 이어야 합니다.	15.4
27	특허 보호	특허 보호	Na_2WO_4 는 PCT 와 TRIPS 에 의해 20 년간 보호를 받습니다.	15.5
28	환경 발자국	환경 발자국	4 생산 시 CO_2 /톤)	16.1
29	폐수 처리	폐수 처리	Na_2WO_4 폐액(pH 6-8)을 중화시키고, H_2WO_4 를 침전시키고, 텅스텐 < 0.5 mg / L.	16.2
30	순환 경제	순환 경제	폐액을 재활용하여 재사용할 수 있으며 회수율은 15% 이상입니다.	16.4
31	녹색 생산	녹색 생산	Na_2WO_4 생산 시 발생하는 탄소 배출을 줄이기 위해 저에너지 소비 공정(예: 마이크로파 알칼리 용해)이 사용됩니다.	16.5
32	지능형 생산	지능형 제조	IIoT 와 PLC 를 사용하여 Na_2WO_4 를 생산하여 수율을 5% 증가시켰습니다.	17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

33	일체 포함	인공지능(AI)	머신 러닝은 밴드 갭(오차 < 0.1 eV)과 같은 Na_2WO_4 재료 특성을 예측합니다 .	17.5
34	초경합금	초경합금	경도가 1500 HV 이상인 Na_2WO_4 유래 텅스텐 분말 로 제조된 WC 기반 소재 .	7.1
35	전기 도금 코팅	전기 도금 코팅	Na_2WO_4 와 NiSO_4 는 경도 700 HV, W 함량 15%의 Ni-W 코팅을 제조하는 데 사용됩니다.	7.5
36	난연제	난연제	Na_2WO_4 는 섬유의 난연성을 개선합니다(LOI>28 %).	7.3
37	광열 변환	광열 변환	흡수율이 90% 이상인 Na_2WO_4 유래 WO_3 코팅이 태양열 수집에 사용됩니다.	9.4
38	감지기	감지기	Na_2WO_4 기반 WO_3 는 가스 센서에서 NO_2 를 감지하는 데 사용됩니다 (감도 >50).	10.2
39	3D 프린팅	3D 프린팅	Na_2WO_4 도핑 세라믹은 1200°C 이상의 온도 저항을 갖는 고온 도체에 사용됩니다 .	10.4
40	동역학 분석	동역학 분석	Na_2WO_4 촉매 반응 은 상수 $k=0.02 \text{ min}^{-1}$ (1 차 반응 속도) 으로 연구되었습니다 .	12.2
41	순환 전압전류법	순환 전압전류법(CV)	-0.2V 의 피크 전위에서 Na_2WO_4 기반 전극의 Na^+ 삽입/추출을 테스트합니다 .	12.3
42	급성 독성	급성 독성	Na_2WO_4 의 경구 LD50 은 약 1.4-2.0 g/kg(마우스)로 독성이 낮습니다.	13.1
43	폐가스 처리	폐가스 처리	백 필터는 Na_2WO_4 먼지를 포집 하며 배출량은 <1 mg/m³입니다(GB 16297-1996).	16.2
44	토양 오염	토양 오염	Na_2WO_4 미립자는 토양에 텅스텐을 풍부하게 만들고(>10 mg/kg) 미생물 활동을 감소시킵니다.	16.3
45	생물야금학	바이오마이닝	Na_2WO_4 로부터 알칼리성 폐액 생성을 50 % 감소시킵니다.	16.5
46	복합재료	복합재료	Na_2WO_4 와 그래핀 복합재를 사용하여 고전도성 코팅 (저항률 < $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)을 제조합니다.	17.1
47	광전기화학	광전기화학(PEC)	Na_2WO_4 유래 WO_3 광전극은 2.5 mA/cm²의 광전류로 물 분해에	17.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

			사용되었습니다 .	
48	디지털 트윈	디지털 트윈	Na ₂ WO ₄ 생산 공정을 시뮬레이션 하고 장비 고장을 예측합니다(정확도>95%).	17.2
49	학제간 응용	학제간 응용	생물의학, 광전자공학 및 환경 정화 분야에서 Na ₂ WO ₄ 의 활용 .	17.4
50	QSPR 모델	QSPR 모델	위험성 평가를 위해 Na ₂ WO ₄ (LC 50, R ² >0.9) 의 생태독성을 예측합니다 .	17.5

일련번호	중국어 용어	영어 용어	정의	관련 장
51	수명주기 평가	수명주기평가(LCA)	채굴에서 폐기물 처리까지 Na ₂ WO ₄ 생산 의 환경 영향을 평가하기 위해 (ISO) 14040) .	16.1
52	탄소 배출량	탄소 배출	Na ₂ WO ₄ 는 주로 에너지 소비로 인해 톤당 약 0.3~0.5 톤의 CO ₂ 를 배출합니다 .	16.1
53	찌꺼기	찌꺼기	Na ₂ WO ₄ 생산 시 텅스텐 (0.1 %-1%)을 함유한 제품은 토양 오염을 방지하기 위해 안전하게 보관해야 합니다 .	16.3
54	산 침출	산 침출	Na ₂ WO ₄ 용액을 생성하면 WO ₃ 가 회수되며 효율은 90 % 이상입니다.	16.4
55	주식 상장	주식 상장	텅스텐 농축물 (WO ₃ >20%)의 가격은 톤당 약 50 달러입니다.	16.4
56	제로 배출	제로 배출	폐쇄형 폐수처리, Na ₂ WO ₄ 생산수 회수율 >90%, 텅스텐 <0.1 mg/ L.	16.5
57	전자레인지 지원	전자레인지 지원	Na ₂ WO ₄ 생산 에 필요한 에너지 소비를 30%까지 줄일 수 있습니다.	16.5
58	기능성 세라믹	기능성 세라믹	Na ₂ WO ₄ 도핑된 ZrO ₂ 세라믹 , 내열성 >1200 ° C, 3D 프린팅 노즐에 사용됨.	17.1
59	밴드갭	밴드갭	WO ₃ (Na ₂ WO ₄ 에서 유래) 의 차이는 약 2.5~2.8eV 로 광촉매 성능에 영향을 미칩니다.	17.1
60	도핑	도핑	N 에서 Na ₂ WO ₄ 로 유도된 WO ₃ 는 밴드갭을 2.2 eV 로 줄이고 빛 흡수를 향상시킬 수 있습니다.	17.1
61	사물 인터넷	산업용 사물 인터넷 (IIoT)	센서는 Na ₂ WO ₄ 생산 매개변수(예: pH 8-10) 를 모니터링 하고 수율을 5 % 최적화합니다.	17.2
62	프로그램머블 로직 컨트롤러	프로그래밍 가능 논리 컨트롤러(PLC)	Na ₂ WO ₄ 결정화 속도 (0.1 ~0.5g/ min) 를 자동으로 조절합니다 .	17.2
63	광전류 밀도	광전류 밀도	Na ₂ WO ₄ 유래 WO ₃ 광양극, 2.5 mA/cm ² (1.23 V 대 RHE) .	17.3
64	스마트 윈도우	스마트 윈도우	Na ₂ WO ₄ 기반 WO ₃ 전기변색 필름, 조광율 70%, 응답시간 <3 초.	17.4
65	머신 러닝	머신러닝(ML)	Na ₂ WO ₄ 기반 소재 의 밴드갭을 예측하여 (오차 <0.1 eV) 소재 설계를 가속화합니다.	17.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

66	랜덤 포레스트	랜덤 포레스트(RF)	ML 알고리즘은 Na_2WO_4 광촉매를 최적화 하여 효율을 15% 높였습니다.	17.5
67	신경망	신경망(NN)	Na_2WO_4 생산 매개변수(온도, pH) 를 최적화함으로써 수율이 8 % 증가했습니다.	17.5
68	용해도	용해도	Na_2WO_4 는 73 g/100 mL (20°C)이며 에탄올에는 녹지 않습니다.	2.1
69	분해 온도	분해 온도	Na_2WO_4 는 698° C 에서 WO_3 와 Na_2O 로 분해되어 자극성 가스를 발생시킵니다.	2.3
70	배위화학	배위화학	WO_4^{2-} 는 금속 이온(예: Fe^{3+}) 과 배위 화합물을 형성하며 촉매 설계에 사용됩니다.	3.3
71	알칼리 용해	알칼리성 침출	NaOH 를 사용하여 세일라이트를 용해하여 Na_2WO_4 용액을 생성합니다. pH 는 12-13 이고 수율은 95% 이상입니다.	5.2
72	결정화 정제	결정화 정제	Na_2WO_4 용액 을 증발시키면 입자 크기 가 50~200 μm 로 조절된 결정(>98%)이 생성됩니다 .	5.3
73	품질 관리	품질 관리(QC)	Na_2WO_4 가 GB/T 26037-2020 을 준수하고 WO_3 함량이 59% 이상인지 확인하세요 .	6.5
74	그림 물감	그림 물감	Na_2WO_4 유래 텅스텐산염은 세라믹과 코팅을 착색하는 데 사용되며, 온도 저항성은 >500° C 입니다.	7.3
75	독성 테스트	독성 테스트	ISO 10993-5 에 따른 Na_2WO_4 (LD 50 1.4-2.0 g/kg, 마우스) 의 급성 독성 평가 .	8.4
76	토양 개선	토양 개선	Na_2WO_4 기반 킬레이트제는 토양에 있는 Cr^{6+} 를 고정시키고 이동성을 50 % 감소시켰습니다.	9.5
77	고처리량 컴퓨팅	고처리량 컴퓨팅	Na_2WO_4 기반 광촉매 제형 의 스크리닝 (샘플 1000 개 이상).	11.2
78	라만 분광법	라만 분광법	Na_2WO_4 (900 cm^{-1}) 에서 WO 결합 진동을 검출하여 구조를 검증하였다.	12.1
79	개인 보호 장비	개인 보호 장비(PPE)	Na_2WO_4 를 취급할 때는 N95 마스크, 보호 안경, 니트릴 장갑을 착용하세요.	13.2
80	폐기물 분리	폐기물 분류	Na_2WO_4 폐기물은 유해 폐기물(HW 48) 이며 고형 폐기물에 의한 환경오염 방지 및 관리에 관한 법률에 따라 처리 되어야 합니다 .	13.5
81	ISO 표준	ISO 표준	ISO 6353-3 은 WO_3 함량이 > 59.5%인 경우 Na_2WO_4 분석 방법을 지정합니다.	15.1
82	ASTM 표준	ASTM 표준	Na_2WO_4 순도 (> 98 %) 측정 , XRF 방법.	15.1
83	GMP 표준	우수 제조 기준(GMP)	제약 등급 Na_2WO_4 는 중금속 <10 ppm 을 포함하여 GMP 를 준수해야 합니다.	15.4
84	블록체인 추적성	블록체인 추적성	원자재 지속 가능성을 보장하기 위해 Na_2WO_4 공급망을 추적 하세요 .	14.5
85	시장 경쟁력	시장 경쟁력	Na_2WO_4 회사는 기술 혁신과 친환경 인증을	14.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

			통해 시장 점유율을 확대합니다.	
86	배출 한계값	배출 한도	Na ₂ WO ₄ 폐수 내 텅스텐 <0.5 mg/L (GB 8978-1996).	16.2
87	수질 오염	물 오염	Na ₂ WO ₄ 폐액(>0.5 mg/L) 은 수생 생물에 영향을 미치며 LC50 은 약 100 mg/ L 입니다.	16.3
88	역삼투압	역삼투압	Na ₂ WO ₄ 폐수 에서 Na ⁺ 및 SO ₄ ²⁻ 을 제거하며 , 물 회수율은 90 % 이상입니다.	16.2
89	폐쇄 루프	폐쇄 루프 재활용	Na ₂ WO ₄ 에서 생성되는 폐수는 재활용되어 배출량을 50 % 감소시킵니다.	16.5
90	생체적합성	생체적합성	Na ₂ WO ₄ 는 의학적 용도 로 사용되며 세포 생존율은 90% 이상입니다(ISO 10993-5).	8.4
91	열역학 분석	열역학 분석	Na ₂ WO ₄ 의 반응 엔탈피 변화 (예 : 알칼리 용해 ΔH <0) 를 계산하고 공정을 최적화합니다.	12.2
92	전착	전착	3 박막은 Na ₂ WO ₄ 용액으로부터 두께 1~5 μm , 전류 밀도 10 mA/cm ² 로 증착되었습니다.	7.5
93	항산화제	항산화 특성	Na ₂ WO ₄ 는 세포의 산화 스트레스를 억제하고 체장 세포를 보호합니다.	8.3
94	공급망 위험	공급망 위험	Na ₂ WO ₄ 생산은 텅스텐 광석 부족과 수출 할당량(WO ₃ 42,000 톤) 의 영향을 받습니다 .	14.3
95	에너지 소비	에너지 소비	Na ₂ WO ₄ 는 약 500~600kWh/톤의 전기와 2GJ/톤의 열에너지를 소모합니다.	16.1
96	침전물	침전물	Na ₂ WO ₄ 폐액 에 H ₂ WO ₄ 가 침전되어 텅스텐 이 장시간 수역으로 방출됩니다 .	16.3
97	저차원 재료	저차원 재료	3 (두께 < 5 nm)는 광전자 소자에 사용하기 위해 Na ₂ WO ₄ 로부터 합성되었습니다.	17.1
98	엣지 컴퓨팅	엣지 컴퓨팅	Na ₂ WO ₄ 생산 데이터 의 실시간 처리를 통해 장비 고장률을 30 % 감소시킵니다.	17.2
99	유연한 전자 장치	유연한 전자 장치	Na ₂ WO ₄ 기반 WO ₃ 는 굽힘 반경이 <5 mm 인 웨어러블 센서에 사용됩니다.	17.4
100	데이터 세트	데이터 세트	AI 모델 학습을 위한 Na ₂ WO ₄ 성능 데이터 (1000 개 샘플 이상) .	17.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

부록 2: 텅스텐산나트륨 참고문헌

일련번호	범주	제목/설명	출처/출판 정보	관련 장
1	표준 문서	ISO 6353-3:1987 - 화학 분석용 시약 - 텅스텐	국제 표준화 기구	15.1
2	표준 문서	ASTM E1447-09 - 텅스텐 측정을 위한 표준 시험 방법	ASTM 인터내셔널	15.1
3	표준 문서	GB/T 26037-2020 - 텅스텐산나트륨 기술 사양	중국 국가 표준	15.2
4	표준 문서	GB/T 30810-2014 - 텅스텐 화합물에 대한 화학 분석 방법	중국 국가 표준	15.2
5	표준 문서	ISO 14040:2006 - 환경 관리 - 수명 주기 평가	국제 표준화 기구	16.1
6	학술 논문	광촉매를 위한 Na_2WO_4 로부터 WO_3 나노입자 합성	재료화학저널 A, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	학술 논문	당뇨병 치료를 위한 PTP1B 억제제로서의 텅스텐산나트륨	당뇨병 연구 및 임상 실습, 2022, 180	8.1, 17.4
8	학술 논문	Na_2WO_4 유래 WO_3	첨단에너지재료학회지, 2024, 14(12)	9.3, 17.3
9	학술 논문	폐수 처리에서 Na_2WO_4 를 이용한 중금속 제거	환경과학기술, 2023, 57(8)	9.1, 16.2
10	학술 논문	Na_2WO_4 의 전자 구조 및 촉매 특성에 대한 DFT 연구	물리화학저널 C, 2024, 128(15)	11.1
11	산업 보고서	글로벌 텅스텐 시장 전망 2024-2030	로스킬 정보 서비스, 2024	14.1-14.5
12	산업 보고서	중국 텅스텐 생산의 환경 영향	중국 비철금속 산업 협회, 2023	16.1-16.3
13	산업 보고서	촉매 응용 분야를 위한 텅스텐산나트륨 시장 분석	프로스트 앤 설리번, 2024	7.2, 14.3
14	산업 보고서	텅스텐 재활용의 순환 경제	국제텅스텐산업협회, 2024	16.4
15	산업 보고서	텅스텐 화학 분야의 친환경 제조 동향	맥킨지앤컴퍼니, 2023	16.5
16	분석 도구	Na_2WO_4 의 텅스텐 함량에 대한 ICP-MS 분석	Thermo Fisher Scientific, iCAP RQ 사용 설명서, 2023	6.2, 12.1
17	분석 도구	텅스텐산나트륨 순도에 대한 XRF 분석	Bruker, S8 TIGER 사용자 가이드, 2024	6.2, 15.1
18	분석 도구	Na_2WO_4 계산 연구를 위한 재료 프로젝트 데이터베이스	재료 프로젝트, https://materialsproject.org , 2024	11.2, 17.5
19	분석 도구	Na_2WO_4 특성의 DFT 계산을 위한 VASP 소프트웨어	VASP 매뉴얼, 버전 6.4, 2024	11.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

20	분석 도구	Na ₂ WO ₄ 반응 의 동역학적 분석을 위한 OriginPro	OriginLab , 사용자 가이드, 2024	12.2
스몰하나	표준 문서	GB/T 31906-2015 - 텅스텐 화학 물질에 대한 포장 사양	중국 국가 표준	13.3, 15.2
스몰둘	표준 문서	중국 약전 2020 - 제약용 텅스텐산나트륨	중국 약전위원회	15.4
스몰셋	학술 논문	스마트 윈도우용 Na ₂ WO ₄ 전기변색 WO ₃ 필름	ACS 응용 재료 및 인터페이스, 2024, 16(10)	10.3, 17.4
스몰넷	학술 논문	Na ₂ WO ₄ 기반 광촉매 설계를 위한 머신 러닝	계산재료과학, 2024, 230	17.5
25	학술 논문	수생 생태계에서 Na ₂ WO ₄ 의 독성 평가	생태독성학 및 환경 안전, 2023, 245	8.4, 16.3
26	산업 보고서	텅스텐산나트륨 응용 분야의 특허 동향	WIPO, 글로벌 특허 보고서, 2024	15.5
27	산업 보고서	2024 년 텅스텐 화학제품 공급망 위험	Argus Media, 텅스텐 시장 보고서, 2024	14.4
28	분석 도구	Na ₂ WO ₄ 생산 공정 최적화 를 위한 MATLAB	MathWorks, MATLAB R2024a 문서, 2024	17.2
29	분석 도구	Na ₂ WO ₄ 분자 모델링을 위한 Gaussian 16	가우시안 주식회사, 사용자 매뉴얼, 2024	11.1
30	분석 도구	Na ₂ WO ₄ 생산 자동화 및 모니터링을 위한 LabVIEW	NI, LabVIEW 2024 사용자 가이드, 2024	17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

부록 3: 텅스텐산나트륨 데이터 시트

3.1 텅스텐산나트륨의 물리적 및 화학적 특성

재산	매개변수 값	단위	시험 방법	관련 장
화학식	Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O	-	-	2.1
분자량	329.85	g/몰	민다	2.1
모습	흰색 또는 약간 노란색 결정	-	시각적	2.1
용해도(20°C)	73	g/100mL	GB/T 30810-2014	2.1
녹는점(분해)	698	°C	디에스씨	2.3
밀도	4.18	g/cm ³	중력법	2.2
pH(10% 용액)	8-9	-	pH 미터	2.3

3.2 텅스텐산나트륨 생산 공정 매개변수

매개변수	매개변수 값	단위	프로세스 단계	관련 장
알칼리 용해 온도	120-180	°C	고압 알칼리 용액	5.2
NaOH 농도	20~30 명	% 중량/중량	알칼리 용해	5.2
반응 시간	2-4	시간	알칼리 용해	5.2
결정화 속도	0.1-0.5	g/분	증발 결정화	5.3
에너지 소비	500-600	kWh/톤	습식제련	16.1
텅스텐 회수율	>95	%	이온 교환	5.6
폐수 텅스텐 농도	<0.5	mg/L	중화 침전	16.2

텅스텐산나트륨 응용분야 성능 비교표

적용 분야	주요 성과	매개변수 값	단위	시험 방법	관련 장
광촉매 (WO ₃)	오염물질 분해율(메틸렌블루)	>85	%	UV-Vis 분광법	9.2
나트륨이온전지 (WO ₃)	용량	300	mAh/g	정전류 충전 및 방전	9.3
전기변색 (WO ₃)	광 변조율	70	%	UV-Vis 분광법	10.3
중금속 흡착	Pb ²⁺ 제거율	>99	%	ICP-MS	9.1
항균 코팅	대장균 억제율	>80	%	균집 수	8.2
초경합금(APT)	경도	>1500	HV	비커스 경도 시험	7.1

3.4 글로벌 텅스텐산나트륨 시장 통계

색인	매개변수 값	단위	연령	원천	관련 장
글로벌 생산	5.2	1 만 톤	2024	업계 추정치	14.1
중국의 생산 점유율	75	%	2024	산업 보고서	14.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

글로벌 소비	4.9	1 만 톤	2024	시장 분석	14.1
산업용 가격	22,000-26,000	달러/톤	2024	무역 통계	14.4
분석 등급 가격	3 만 2 천	달러/톤	2024	무역 통계	14.4
연평균 시장 성장률	4	%	2025-2030	예측하다	14.1
재활용 텅스텐 비율	15	%	2024	산업 보고서	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT